ELEKTRIE 4|89

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

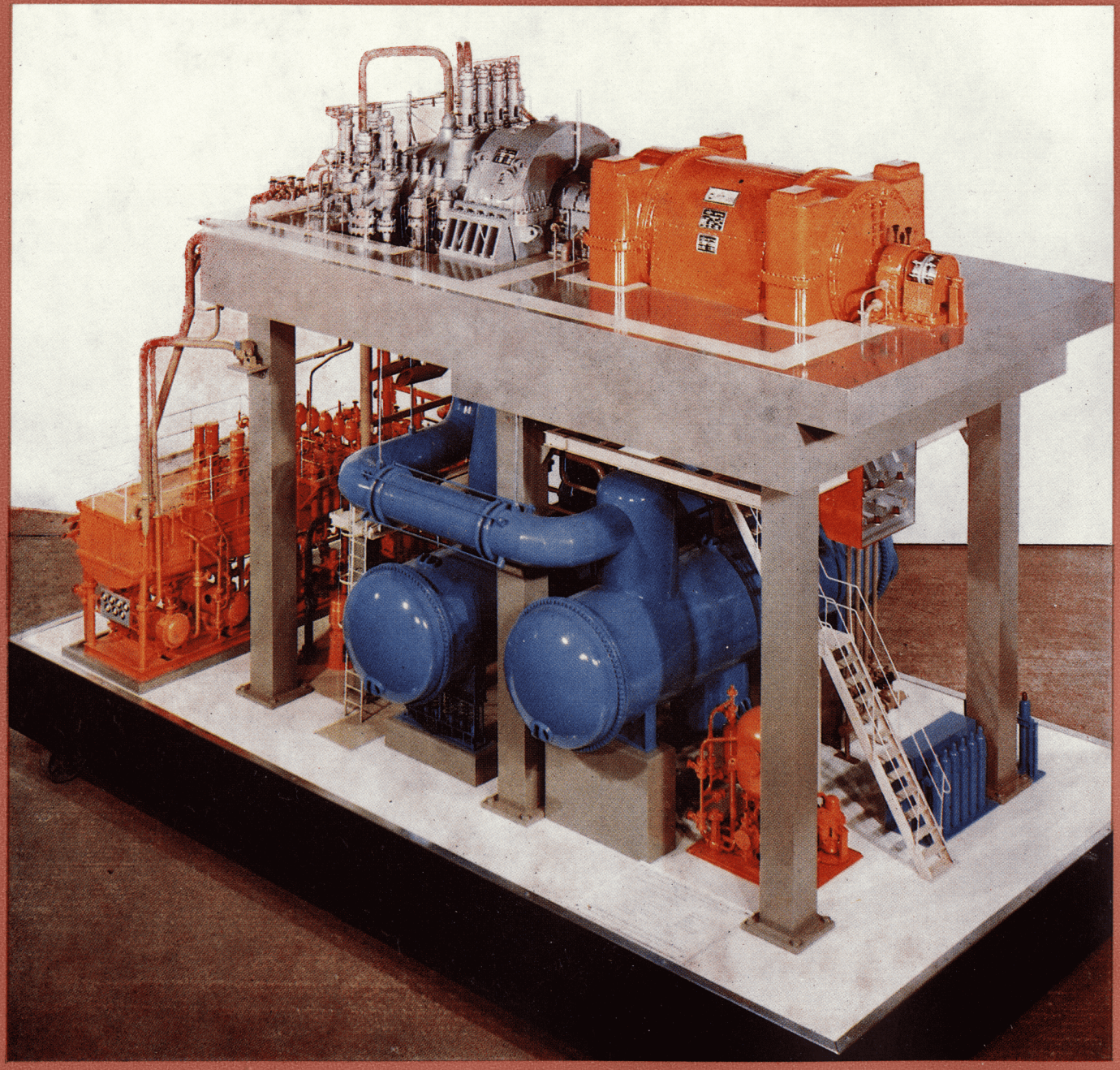
6. BB-Fachtagung

40 Jahre Bergmann-Borsig
40 Jahre Turbomaschinenbau

0120221

Modell einer 60-MW-Turbosatzanlage

des Heizkraftwerkes „Georg Klingenberg" in Berlin mit Drehstrom-Turbogenerator 71 MVA



VEB Bergmann-Borsig
Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau
Hans-Beimler-Straße 91/94
Berlin, DDR-1017
Telefon: 4 38 50, Telex: 112501 kokab dd

Exporteur:
TechnoCommerz
Volkseigener Außenhandelsbetrieb
Johannes-Dieckmann-Str. 11/13
Berlin, DDR - 1086
Telefon: 22 40, Telex: 11 4977-8

4|89 ELEKTRIE

43. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G.Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Für den Einsatz in der Industrie, in Heiz- und Kraftwerken der DDR sowie für den Export stellt der VEB Bergmann-Borsig Turbogeneratoren bereit, die sich durch hohe Lebensdauer und Zuverlässigkeit auszeichnen. Unser Bild zeigt einen Drehstrom-Turbogenerator H 71 × 10,5 (71 MVA; 60 MW; 10,5 kV) mit Wasserkühlung.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 122

Krüger, W.-D.; Piratzky, H.

Geleitwort zur VI. Fachtagung des VEB Bergmann-Borsig 123

Fachaufsätze

Wagner, W.

110-MW-Turbogenerator für die Rekonstruktion der 100-MW-Kraftwerksblöcke der DDR 124

Glebov, I. A.; Danilevich, Ja. B.

Probleme der Diagnose von Turbogeneratoren 127

Lemberg, G.

Verbesserte Erfassung des Dämpfersystems von Synchron-Vollpolmaschinen 129

Pärsch, H.; Müller, F.

Verhalten der Durchschlagspannung einer Glimmerpapier-Isolieranordnung bei elektrischer Alterung 132

Krause, W.

Ermittlung der Beanspruchungen in rotierenden Teilen eines Turbogenerators und notwendige Voraussetzungen für die Einschätzung der Lebensdauer unter Betriebsbedingungen 135

Hlaváč, J.

Neue Turbogeneratoren für das Kernkraftwerk Nord 139

Dytewski, K.

Beseitigung von Statorschwingungen eines 200-MW-Turbogenerators 141

Karsch, P.; Weber, F.; Bodau, G.

Entwicklung und Fertigung hochwertiger technischer Konsumgüter im VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau 144

Umschau

CIGRE — 32. Session (Fortsetzung) 148

Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Elektro- und Automatisierungstechnik 151

Fachtagungen 154

Bücher 158

AKTUELLE INFORMATION

Leistungsfähigkeit und Qualität des sozialistischen Transport- und Nachrichtenwesens

16. Verkehrswissenschaftliche Tage im Rahmen der „Friedrich-List-Ehrung" anläßlich des 200. Geburtstages

Zeit: 12. bis 15. September 1989
Ort: Dresden
Veranstalter: Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden

Tagungssektionen

- *Prozeßautomatisierung*
  - — Bausteine computerintegrierter Prozeßautomatisierungslösungen
  - — Rechnergestützte Prozeßleitsysteme
  - — Prozeßnahe Steuerung, Diagnose und Datenkommunikation
- *Logistik/Transportsysteme*
  - — Logistische Leistungsbereiche der Volkswirtschaft
  - — Logistische Informationssysteme
  - — Ökonomische Bewertung logistischer Lösungen und Modellbildung
- *Elektrische Bahnen und Drehstromantriebstechnik*
  - — Moderne Antriebstechniken bei elektrischen Bahnen
  - — Dimensionierung und Betriebsführung elektrischer Bahnen
- *Schienenfahrzeuge*
  - — Entwicklung von Schienenfahrzeugen
  - — Fertigung und Betrieb von Schienenfahrzeugen
  - — Schienenfahrzeuginstandhaltung
- *Nachrichtentechnik*
- *Technologie und Technik des Post- und Zeitungswesens*
- *Verkehrsbau*
- *Verkehrssicherheit*
  - — Sicherheitsgerechtes und zuverlässiges Handeln in Verkehrsprozessen
  - — Transport gefährlicher Güter
  - — Sicherheitsanalyse und Sicherheitsbewertung von Verkehrsprozessen
- *Stadtverkehr*

  Ökonomische Probleme des Personenverkehrs und des Tourismus
  Gesellschaftsstrategie und Innovation im Verkehrswesen
  Verkehrsbaumaschinen
  See- und Binnenschiffahrt

Anfragen

Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden
16. Verkehrswissenschaftliche Tage
Organisationskommission
Friedrich-List-Platz 1
Dresden
8010

Die Redaktion EA 3075

Anwendung von Verfahren der Technischen Diagnostik an elektrotechnischen Betriebsmitteln

4. Tagung

Zeit: 17. Oktober 1989
Ort: Schkopau
Veranstalter: Die Fachsektion Elektrotechnik in der KDT-Betriebssektion Kombinat VEB CHEMISCHE WERKE BUNA Schkopau gemeinsam mit dem Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden

Inhaltliche Schwerpunkte

- — Die zustandsabhängige Instandhaltung an elektrotechnischen Betriebsmitteln auf der Basis einer rechnergestützten Technischen Diagnostik
- — Möglichkeiten der Einbeziehung der Diagnosetechnik in die Konstruktion elektrotechnischer Betriebsmittel an Beispielen, wie
  - Generatoren, Motoren
  - Transformatoren, Wandlern
  - Nieder-, Mittel- und Hochspannungsanlagen
  - Schaltgeräten

Anfragen

Anmeldungen und Vortragsmeldungen sind zu richten an:
Kombinat VEB CHEMISCHE WERKE BUNA KDT-Fachsektion Elektrotechnik
z. Hd. *O. Maus*, C 952
Tel. 492780
Schkopau
4212
O. Maus, Schkopau EA 3074

Steuerung mechanischer Systeme

Fachtagung

Zeit: 6. bis 8. Februar 1990
Ort: TU Karl-Marx-Stadt
Veranstalter: TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik

Inhaltliche Schwerpunkte

- Theoretische Probleme der automatischen Steuerung
  - — Modellbildung
  - — Simulation
  - — Verfahren der Regelung und Steuerung/Algorithmen
- Gerätetechnik für Informationserfassung und -verarbeitung
  - — Sensoren/Aktoren
  - — industrielle Steuerungen
- Komplexe Automatisierungsstrukturen
  - — Steuerungsverbund/Leitsysteme
  - — Anwendung/CIM-Komponenten

Zielstellung der Tagung ist es, auf den Gebieten der Fertigungsautomatisierung, der Automatisierung im Be- und Verarbeitungsmaschinenbau sowie der Leicht- und Konsumgüterindustrie tätige Spezialisten zusammenzuführen, neueste Erkenntnisse auszutauschen und zu vermitteln.

Anfragen

sind schriftlich zu richten an:
Technische Universität Karl-Marx-Stadt
Sektion Automatisierungstechnik Tagung „Steuerung mechanischer Systeme"
Postfach 964
Karl-Marx-Stadt, 9010
G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 3086

Lichttechnik

2. Internationale Fachtagung

Zeit: I. Quartal 1990
Ort: Berlin
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik; Wissenschaftliche Sektion Lichttechnik der KDT; Kombinat VEB NARVA

Inhaltliche Schwerpunkte

Orientierung eines breiten Kreises von Wissenschaftlern, Technikern und Praktikern der optischen Strahlung erzeugenden und anwendenden Industrie und anderen Bereichen der Wirtschaft über die Aufgaben der Licht-, Ultraviolett-, Infrarot-Beleuchtungs- und Bestrahlungstechnik.

- Neue Entwicklung auf den Gebieten
  - — Lampen und Strahler
  - — Leuchten und Bestrahlungseinrichtungen
  - — Bestrahlungstechniken und -technologien
  - — Beleuchtungsanlagen
  - — Zünd-, Vorschaltgeräte und Zubehör
  - — Licht- und Strahlungsmeßtechnik
- Rationelle Energieanwendung durch
  - — Einsatz hocheffektiver Lampen, Strahler und Anlagen
  - — Anwendung beleuchtungstechnischer Standardisierungs- und Projektierungsvorschriften
- Einsatz der Mikroelektronik und Rechentechnik bei der Erzeugnisentwicklung von optischen Strahlungsquellen und Leuchten und in der Beleuchtungstechnik, insbesondere bei Projektierungsaufgaben (CAD/CAM).
- Einsatz der optischen Strahlungstechnik für Hochtechnologien (Mikroelektronik, Biotechnologie, Medizin u.a.)
- Neueste Erkenntnisse der Grundlagenforschung auf den Gebieten
  - — Anwendung und Entwicklungstendenzen der optischen Strahlungstechnik
  - — Erzeugung optischer Strahlung
  - — Licht- und Strahlungsquellen
  - — Geräte und Vorrichtungen zum Betreiben und Untersuchungen von Licht- und Strahlungsquellen

Anfragen

Teilnahmeanmeldung sowie Vorschläge für Vorträge und Poster (Termin: 31. Mai 1989) sind schriftlich zu richten an
Kammer der Technik
— Präsidium —
Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115/117
Berlin
1086
H. Hoppe, Berlin EA 3018

Geleitwort zur 6. Fachtagung des VEB Bergmann-Borsig

Es ist bereits eine gute Tradition, in regelmäßigen Abständen Fachtagungen der KDT-Betriebssektion durchzuführen. Diese Form der Dokumentation des erreichten wissenschaftlich-technischen Niveaus hat sich bewährt. Das Gespräch, der wissenschaftliche Meinungsstreit und die Pflege von Verbindungen mit Fachkollegen aus der DDR und befreundeten Betrieben und Instituten des Auslandes dienen nicht nur der eigenen realistischen Standortbestimmung, sondern sie bilden auch Quellen, ohne die ein schöpferisches Wirken der Ingenieure auf Dauer nicht denkbar wäre.

Die 6. BB-Fachtagung hat einen besonderen Charakter. Einerseits gilt es, die historischen Komponenten zu würdigen, andererseits harren gegenwärtig bereits neue, anspruchsvolle Aufgaben einer kurzfristigen Lösung, zu denen Position bezogen werden muß.

40 Jahre DDR bedeuten auch für den im Jahre 1949 in Volkseigentum überführten VEB Bergmann-Borsig ein Jubiläum. Mit Stolz stellen wir fest, daß sich dieser Großbetrieb aus schweren Anfängen heraus zu einem geachteten Partner der Elektroenergieversorgung entwickelt hat. Der VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau, befaßt sich innerhalb seines umfangreichen und vielfältigen Produktionsprogramms besonders mit der Projektierung, Berechnung, Konstruktion, Fertigung, Prüfung, Montage und Inbetriebsetzung von zweipoligen Turbogeneratoren. Im Jahre 1949 begann mit einem 10-MW-Turbogenerator für das Heizkraftwerk „Georg Klingenberg" in Rummelsburg die Entwicklungsarbeit. Seitdem konnten für den Einsatz in Industrie-, Heiz- und Grundlastkraftwerken der DDR und für den Export mehrere hundert Turbogeneratoren bereitgestellt werden, die sich durch hohe Lebensdauer und Zuverlässigkeit auszeichnen. Gleichzeitig war eine komplexe Verantwortlichkeit bei der Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung für die aus der UdSSR importierten 200- und 500-MW-Turbogeneratoren wahrzunehmen.

Diese beachtlichen Ergebnisse sind Ausdruck einer zielstrebigen Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Turbogeneratorenbauer. Dabei ist es gelungen, auch die spezifischen Möglichkeiten der Kammer der Technik speziell für eine enge sozialistische Gemeinschaftsarbeit und eine gezielte internationale Zusammenarbeit zu nutzen und in die Praxis umzusetzen.

Insbesondere mit den zentralen Beschlüssen des Jahres 1987 zur Energiewirtschaft wurde die Profilierung auf die bestimmenden Aufgaben im Kernkraftwerksbau und bei der Rekonstruktion der installierten Kraftwerksausrüstungen vertieft.

Für die Turbogeneratorenbauer geht es in diesem Zusammenhang vor allem darum, die Lieferung und Inbetriebnahme der 1000-MW-Turbogeneratoren für das KKW Stendal im arbeitsteiligen Prozeß mit der UdSSR zu unterstützen und gleichzeitig die Modernisierung der 100-MW-Turbogeneratoren vollverantwortlich durchzuführen.

Nicht zuletzt soll die 6. BB-Fachtagung sichtbar werden lassen, daß mit den anstehenden Lösungen volkswirtschaftlich wichtiger Bedarf realisiert und die dazu erforderliche betriebliche Leistungsentwicklung in vollem Umfang abgesichert wird.

Ausschließlich diesem Ziel dienen Erzeugnisentwicklung und technologische Umgestaltung des Betriebes.

Wünschen wir also der Fachtagung eine aufgeschlossene Atmosphäre und einen erfolgreichen Verlauf.

Einen repräsentativen Einblick in Schwerpunkte der Tagung vermitteln die Beiträge auf den folgenden Seiten.

Dr. H. Piratzky

Stellvertreter des Generaldirektors für Wissenschaft und Technik des Kombinates Kraftwerksanlagenbau

Dr. sc. techn. W.-D. Krüger

Direktor für Wissenschaft und Technik VEB Bergmann-Borsig, Werk Berlin-Wilhelmsruh

110-MW-Turbogenerator für die Rekonstruktion der 100-MW-Kraftwerksblöcke in der DDR

W. Wagner, KDT, Berlin

Die 100-MW-Turbosätze in den DDR-Kraftwerken Lübbenau, Vetschau und Hagenwerder wurden in den Jahren 1962 bis 1967 installiert. Die Turbogeneratoren dieses Typs, die vom VEB Bergmann-Borsig Berlin entwickelt und hergestellt wurden und mit Wasserstoffkühlung der Wicklungen und des Blechpakets ausgerüstet sind, haben sich in den etwa 25 Betriebsjahren hervorragend bewährt, nachdem in der ersten Phase des Betriebes erkannte Schwachstellen beseitigt worden waren.

Volkswirtschaftliche Analysen gehen davon aus, daß mit den zu errichtenden Kernkraftwerken nur der geplante Zuwachs an Elektroenergie gesichert werden kann. Die Kapazitäten der installierten Rohbraunkohlekraftwerke müssen deshalb vollständig erhalten bleiben. Das wiederum erfordert, diese physisch und moralisch verschlissenen Anlagen für eine zweite Betriebsperiode von mindestens 25 Jahren durch effektivere zu ersetzen.

1. Zielstellungen bei der Rekonstruktion der 100-MW-Turbogeneratoren

Gemäß Aufgabenstellung der Betreiber der Turbogeneratoren ist mit der Rekonstruktion gleichzeitig eine Modernisierung der Kraftwerksblöcke zur Erhöhung der Anlagenstabilität und der Zuverlässigkeit vorzunehmen. Weiterhin ist speziell im Hinblick auf die Bauteile des Turbogenerators während des gesamten Rekonstruktionszeitraumes über etwa 10 Jahre für insgesamt 27 Generatorständer und 28 Induktoren die Austauschbarkeit des rekonstruierten Typs mit dem bisherigen Typ zu sichern. Diese Forderung bedingt, daß die Hauptabmessungen der entscheidenden Bauteile (Generatorständer, Schutzhauben, Induktor) unverändert bleiben müssen.

Zur Minimierung des Bauaufwandes sind die neuen Turbosätze im vorhandenen Maschinenhaus aufzustellen und die Fundamente sowohl für die Turbinen als auch für die Turbogeneratoren möglichst unverändert zu belassen.

Dipl.-Ing. *Wolfgang Wagner* ist Leiter der Entwicklungsabteilung für Turbogeneratoren im VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinats Kraftwerksanlagenbau.

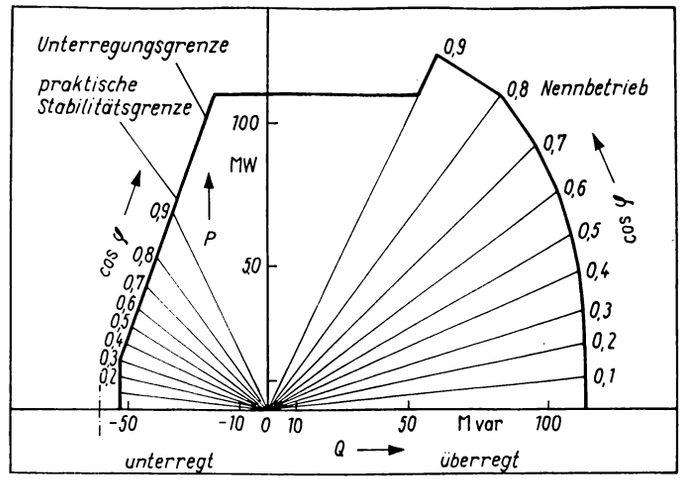


Bild 1. Leistungsdiagramm des Turbogenerators H 137,5 × 10,5 Reko

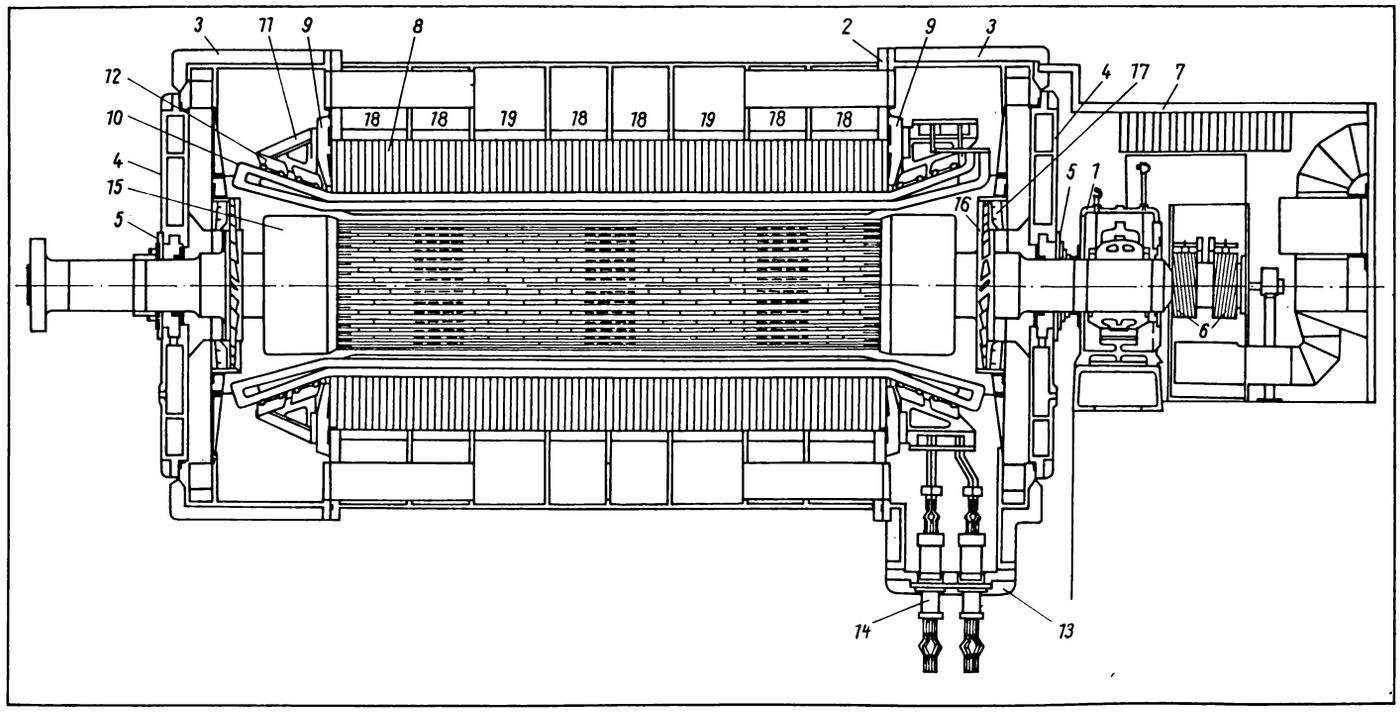
Bezüglich der Leistung des rekonstruierten Turbosatzes werden eine maximale Dauerlast von 110 MW und eine Spitzenlast von 115 MW für zweimal täglich 3 h gefordert, wobei zu untersuchen ist, ob möglicherweise 120 MW zu realisieren sind. Daraus leitet sich ab, dauernd eine Scheinleistung von 137,5 MVA liefern zu können. Das ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Scheinleistung um 10 %. Wegen der Forderung nach Beibehaltung des Fundaments darf daher der rekonstruierte Turbogenerator trotz dieser Leistungserhöhung keine höheren Fundamentbelastungen als die Ursprungsausführung mit sich bringen.

Unter Beibehaltung der Hauptabmessungen bietet sich an, einzelne kostenintensive Bauteile (z. B. Generatorgehäuse, Schutzhauben, Induktorwelle) wiederzuverwenden. Voraussetzung dafür ist jedoch eine sorgfältige individuelle Prüfung jedes dieser Bauteile auf mögliche Schädigungen oder Materialermüdungen.

2. Auslegungsdaten

Obwohl grundsätzlich von einer Rekonstruktion der 100-MW-Turbogeneratoren die Rede ist, handelt es sich doch um die Neuauslegung des Turbogenerators, wobei erschwerend hinzukommt, daß durch die vorgegebenen Randbedingungen (Beibehaltung der Haupt-

Bild 2. Längsschnitt des rekonstruierten Turbogenerators



Tafel 1. Hauptparameter des Turbogenerators

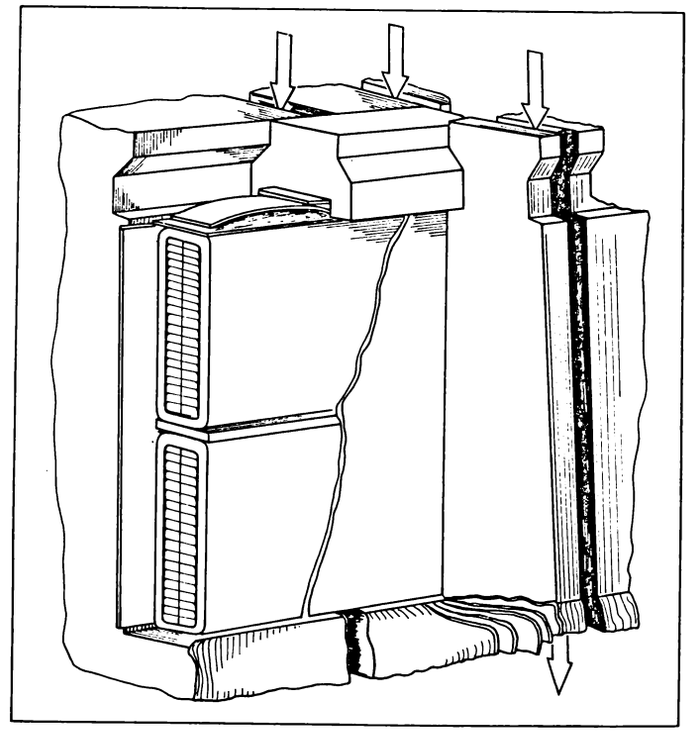
Nennscheinleistung	137,5 MVA
Nennwirkleistung	110 MW
Nennverschiebungsfaktor cos φ_n	0,8
Überlaststufen	115 MW (cos φ = 0,84) 120 MW (cos φ = 0,87)
Nennspannung	10,5 kV ± 5 % bei Nennleistung ± 10 % dauernd bei verringerter Leistung
Nennerregerstrom	1325 A
Nennerregerspannung	308 V
Zulässige Dauerschieflast	14 %
Nennfrequenz	50 Hz
Frequenzbereich	48,5 · · · 51,25 Hz
Nenndrehzahl	3000 min^{-1}
Kühlwassereintrittstemperatur für Nennbetrieb	≦ 32 °C
Wasserstoff-Überdruck im Generator	0,2 MPa
Schutzgrad	IP 55 (Schleifringe IP 10)
Nennbetriebswirkungsgrad	≧ 98,3 %
Dauerverfügbarkeit V_D*	0,987
Revisionszyklus	6 Jahre
Schalleistungspegel	103 dB (A)

abmessungen und Einhaltung der gegenwärtig gültigen zulässigen Fundamentbelastungen) gewisse Einschränkungen in der Freizügigkeit der Auslegung gegeben sind. Dadurch ist eine optimale Auslegung nicht zu erreichen, so daß sowohl die Masse des Turbogenerators als auch der Wirkungsgrad heutige internationale Bestwerte nicht erreichen können. Trotzdem ist die gewählte Lösung volkswirtschaftlich günstig, da kein Bauaufwand im Maschinenhaus des Kraftwerks entsteht und etwa 40% des Grundmaterials durch Wiederverwendung vorhandener Bauteile eingespart werden kann.
In Tafel 1 sind die Hauptparameter des Turbogenerators angegeben, das Leistungsdiagramm zeigt Bild 1. Daraus geht hervor, daß der untererregte Betrieb, der in Schwachlastzeiten erforderlich ist, zu gewährleisten ist. Der Turbogenerator ist für den Grundlast- und Mittellastbetrieb (50 · · · 60 An-/Abfahrvorgänge pro Jahr) ausgelegt.

3. Konstruktive Beschreibung

Grundlage für die konstruktive Beschreibung ist der im Bild 2 dargestellte Längsschnitt. Der Turbogenerator ist als zweipoliger Drehstrom-Turbogenerator ausgeführt. Die Lagerung erfolgt in Stehlagern. Das erregerseitige Generatorlager (1) ist isoliert gegenüber der Grundplatte.
Die aktiven Bauteile sind in einer wasserstoffdichten und druckfesten Umhausung eingeschlossen, die durch das Ständergehäuse (2) und die die Ständerwicklungsköpfe umschließenden Schutzhauben (3), die beidseitig an das Ständergehäuse angeflanscht sind, gebildet wird. Stirnseitig werden die Schutzhauben durch die äußeren Deckel (4) verschlossen. Den Austritt des Kühlgases zwischen den äußeren Deckeln und den Wellenschenkeln des Induktors verhindern Radial-Wellenabdichtungen (5), die mit Dichtöl beaufschlagt werden, das von einer speziellen Dichtölversorgungsanlage bereitgestellt wird. Über dem erregerseitigen Generatorlager und über den Schleifringen (6) ist eine beleuchtete und belüftete, sogenannte Lagerhaube (7) angeordnet, die eine schalldämmende Funktion hat und den Zugang zum Lager und zum Bürstenapparat ermöglicht.
Das Ständergehäuse ist eine biegesteife und verwindungsfreie Schweißkonstruktion. Es enthält Schwalbenschwanzbalken zur Aufnahme des Blechpaketes und hat Fußbalken als Fundamentauflage. Das Ständerblechpaket (8) besteht aus beidseitig lackisolierten, hochlegierten Dynamoblechen. Es wird durch Preßdeckel (9) aus einer Sondermessing-Legierung, die am Ständergehäuse angeschraubt sind, zusammengepreßt. Das Ständerblechpaket ist durch über die gesamte axiale Länge verteilte radiale Kühlschlitze in Teilpakete aufgeteilt. Die in magnetisch offene und mechanisch mit Federkeilen zuverlässig verschlossene Nuten eingelegte Ständerwicklung ist als Zweischicht-Kegelmantel-Evolventen-Stabwicklung ausgeführt. Im Bild 3 ist die Befestigung der Ständerstäbe in der Nut mit Federkeilen schematisch dargestellt. Die Ständerstäbe sind sowohl im Nutteil als auch im Bügelteil geroebelt.
Es kommt eine kontinuierlich ausgeführte Kunstharzisolierung der WBK F zum Einsatz. Als Nutglimmschutz wird ein neuartiger elastischer Glimmschutzauftrag verwendet, der zum Festsitz der Ständerstäbe in der Nut beiträgt. Die Stabfestlegung im Nutbereich mit Federkeilen und der elastische Glimmschutzauftrag sichern den Festsitz der Stäbe in der Nut über einen langen Zeitraum und sind Voraussetzung für die Gewährleistung eines Revisionszyklus von 6 Jahren. Die Ständerwicklungsköpfe (10) werden durch am Preßdeckel befestigte Wicklungsböcke (11) und Halteringe (12) abgestützt, wobei die einzelnen Stabbügel durch Distanzstücke und Bandagen miteinander fest verbunden sind. So ergibt sich ein stoßkurzschlußfestes Wicklungskopfgewölbe. Zur Kontrolle der Wicklungstemperatur während des Betriebes sind zwischen den Stäben ausgewählter Nuten im Bereich des Ständerblechpakets Widerstandsthermometer angeordnet, deren Anschlüsse gesonderten Klemmbrettern am Generatorgehäuse zugeführt sind. Das Hauptstromklemmbrett (13), das auf der Unterseite der erregerseitigen Schutzhaube angeordnet ist, trägt die 6 Generator-Hauptstromdurchführungen (14), die konstruktiv so ausgeführt sind, daß die Gasdichtheit in diesem Bereich gesichert wird.
In den Schutzhauben sind die 4 Teilkühler untergebracht.
Der Induktor ist ein Massivläufer aus hochlegiertem Stahl mit angeschmiedetem Kupplungsflansch. Die in den Induktorballen eingefrästen Nuten nehmen die Erregerwicklung aus silberlegiertem Elektrolytkupfer und die Leiter der Dämpferwicklung auf. Die Fliehkräfte werden im Nutteil durch hammerkopfförmige Keile aus einer hochwertigen Al-Legierung und im Wicklungskopfteil durch Kappen (15) aus austenitischem Stahl aufgenommen. Die Kappen sind einseitig auf den Ballenenden des Induktors aufgeschrumpft und gegen axiale Verschiebung gesichert. Die Leiter der Erregerwicklung sind mit einem axialen Kühlkanal versehen, durch den das Kühlgas strömt und die Verlustwärme abführt. Die Nutisolierung und die Windungsisolierung der Erregerwicklung entspricht der WBK F. Die Dämpferleiter werden im Wicklungskopfbereich durch Dämpferkämme verbunden, so daß ein wirksamer Kurzschlußkäfig entsteht.
Der Erregerstrom wird der Erregerwicklung über Bürsten und Schleifringe zugeführt, die außerhalb des Lagermittenabstands hinter dem der Turbine abgewandten Generatorlager angeordnet sind. Es werden unter Last auswechselbare Bürstenhalter verwendet.
Axiallüfter (16), die beidseitig auf der Induktorwelle angeordnet sind, fördern das Kühlgas durch den Generator. Das von den Gaskühlern — die mit Kühlwasser beaufschlagt sind — rückgekühlte Gas wird durch die Leiträder (17) den Axiallüftern zugeführt und von diesen in Richtung der Maschinenmitte gefördert. Es teilt sich in 3 Teilströme auf. Der erste Teilstrom wird axial in den Luftspalt gefördert und strömt durch die radialen Kühlschlitze des Blechpakets im Bereich der 6 Warmgaskammern (18) radial zum Blechpaketrücken und dann axial zu den Gaskühlern zurück. Dieser Gasstrom führt die Reibungsverluste, die Kupfer- und Zusatzverluste der Ständerwicklung im Nutbereich und die Eisenverluste des Ständerblechpakets ab. Der zweite Teilstrom tritt durch die Stän-

Bild 3. Befestigung des Ständerstabes im Nutbereich mit Federkeilen



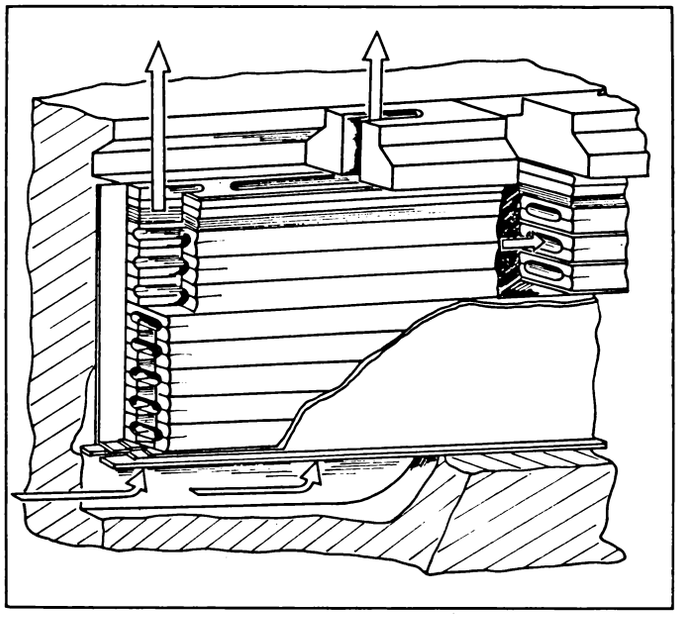


Bild 4. Schematische Darstellung der Teilleiter der Erregerwicklung mit Kühlkanälen und radialen Austrittsschächten

derwicklungsköpfe hindurch, strömt im Blechpaketrücken axial zu den Kaltgaskammern (19) und in diesem Bereich dann radial durch die Kühlschlitze des Blechpakets zum Luftspalt, wo er sich mit dem ersten Teilstrom vereinigt und im Bereich der Warmgaskammern radial durch die Kühlschlitze und dann weiter zu den Gaskühlern strömz. Dieser Gasstrom führt in erster Linie die Kupfer- und Zusatzverluste der Ständerwicklungsköpfe, dann aber auch die Verluste analog zum ersten Teilstrom ab. Der dritte Teilstrom wird dem Induktor im Bereich der Induktorwicklungsköpfe zugeführt. Durch Eigenventilation wird die Erregerwicklung auf jeder Seite des Generators in jeweils 2 Kühlzonen gekühlt, indem das Kühlgas durch radiale Schächte in die Wicklung eintritt, die Teilleiter axial durchströmt und hinter den Induktorkappen bzw. in Generatormitte durch radiale Schächte und Öffnungen in den Nutkeilen in den Luftspalt austritt. Dort vereinigt es sich wieder mit den übrigen Teilströmen.

Bild 4 zeigt eine schematische Darstellung der Teilleiter der Erregerwicklung mit radialen Austrittsschächten.

Die Erregung des Generators erfolgt durch eine statische Erregereinrichtung, die von den Turbogeneratorklemmen gespeist wird.

4. Maßnahmen bei der Rekonstruktion und Leistungserhöhung der installierten Turbogeneratoren

Die Austauschbarkeit von Bauteilen wurde in der Weise realisiert, daß das Ständergehäuse, die Schutzhauben und der Induktor in ihren Außenabmessungen und Anschlußmaßen und auch die Axiallüfter in der ursprünglichen konstruktiven Ausführung unverändert blieben. Das trifft auch für das prinzipielle Kühlsystem des Turbogenerators zu.

Zur Sicherstellung der Leistungserhöhung von 125 MVA auf 137,5 MVA ist die Erhöhung des H_2-Drucks im Generatorgehäuse auf 0,2 MPa Überdruck nötig. Diese Maßnahme dient der Verbesserung der Wärmeabfuhr von den aktiven Bauteilen zum Kühlgas einerseits und der Verbesserung des Wärmeübergangs vom Kühlgas zu den Gaskühlern andererseits. Dabei ist die Erhöhung des Gasdrucks insbesondere wegen der Gaskühler erforderlich, die in den vorhandenen Generator-Schutzhauben unterzubringen sind, also nicht größer als die bisher ausgeführten sein dürfen, jedoch eine um 14,8 % höhere Verlustleistung abführen müssen. Eine Vergrößerung der Schutzhauben scheidet wegen der damit verbundenen umfangreichen baulichen Maßnahmen am Generatorfundament aus.

Die Erhöhung des Gasdrucks im Generator erfordert den Einsatz von neuen Wellenabdichtungen, einer neuen Dichtöl- und Gasversorgungsanlage einschließlich eines Kühlaggregat-Gastrockners. Diese Bauteile sind in anderen Kraftwerken bereits mehrfach eingesetzt worden und ausreichend erprobt. Schließlich hat die Erhöhung des Gasdrucks einen Einfluß auf die zur Wiederverwendung vorgesehenen Bauteile Generatorgehäuse und Schutzhauben. Im Rahmen der Rekonstruktion ist deshalb das Dichtungssystem zu verbessern sowie die Dichtheit der genannten Bauteile, insbesondere im Bereich der Schweißnähte, zu überprüfen und evtl. durch Nacharbeiten zu sichern.

Im Zusammenhang mit dem Einsatz der neuen Wellenabdichtung sind neue äußere Deckel einzusetzen.

Die Hauptstromdurchführungen werden in der bewährten konstruktiven Ausführung mit vergrößerten Oberflächen zur besseren Wärmeabführung neu gefertigt, wobei der Einbau in das konstruktiv unveränderte Hauptstrom-Klemmbrett zu sichern ist.

Die Turbogeneratoren erhalten ein neues Blechpaket und eine neue Ständerwicklung, um den Anforderungen an die Leistungserhöhung gerecht zu werden. Die geplante Wiederverwendung der Preßdeckel hängt vom Prüfbefund bei jedem einzelnen Objekt ab. Die Wicklungskopfausladung muß so gestaltet sein, daß sie im Volumen der vorhandenen Schutzhauben unterzubringen ist.

Die Wiederverwendung der Induktorwellen ist eine der wichtigsten Zielstellungen, denn sie verkörpert einen relativ hohen Wert. Die Induktorkappen und Axialventilatoren werden entsprechend der ursprünglichen Ausführung neu gefertigt, da diese Bauteile am höchsten beansprucht sind und Sicherheit den Vorrang vor möglichen Einsparungen haben muß.

Die Erregerwicklung wird gegenüber der ursprünglichen Ausführung konstruktiv verändert. Es kommt ein neues Leiterprofil zum Einsatz, das durch seinen größeren Kühlkanalquerschnitt eine bessere Wärmeabführung ermöglicht. Dadurch wird die thermische Belastung der Nut- und Windungsisolierung trotz der Leistungserhöhung herabgesetzt. Wegen des relativ niedrigen Temperaturniveaus der Erregerwicklung werden die thermomechanischen Beanspruchungen gering gehalten und eine hohe Lebensdauer der Erregerwicklung gesichert. Das Prinzip der direkten Leiterkühlung der Erregerwicklung ist dabei unverändert geblieben.

Ebenso wie die Kappen und die Axialventilatoren werden die Schleifringe erneuert, weil sie einem gewissen Verschleiß unterliegen.

Die Lagerhaube über dem erregerseitigen Generatorlager und den Schleifringen ist bei den gegenwärtig in Betrieb befindlichen Turbogeneratoren nicht vorhanden. Sie dient der Verringerung des vom Lager und von den Schleifringen ausgehenden Lärmniveaus. Den Schleifringen wird durch einen in der Haube angeordneten Lüfter über Filter aus dem Maschinenhaus Kühlluft zugeführt, um die Wärmeabfuhr aus diesem Bereich zu sichern und die einwandfreie Funktion der Bürsten zu gewährleisten. Ein neues Bürstenträger-Gestell und neue Bürstenhalter ermöglichen das gefahrlose Auswechseln der Kohlebürsten bei in Betrieb befindlichem Turbogenerator.

Letztlich werden neue statische Erregereinrichtungen zum Einsatz kommen, die die direktgekuppelten Gleichstrom-Erregermaschinen bzw. separat aufgestellte Erregeraggregate mit Asynchronmotor-Antrieb ersetzen.

EA 5979

Lieferbar in 2., stark bearbeiteter Auflage!

Gerätekonstruktion

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Krause. 672 Seiten, 519 Bilder, 232 Tafeln, Leinen, DDR 49,– M, Ausland 60,– DM. Im Fachbuchhandel erhältlich. Bestellangaben: 5536247/Krause, Geräte.

Hauptabschnitte: Einleitung · Konstruktiver Entwicklungsprozeß von Geräten · Geräteaufbau · Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Geräten · Schutz von Gerät und Umwelt · Gerätetechnische Funktionsgruppen · Formgestaltung von Geräten · Geräteverpackung.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Probleme der Diagnose von Turbogeneratoren

I. A. Glebov, Ja. B. Danilevich; Leningrad, UdSSR

Zur Gewährleistung einer hohen Betriebszuverlässigkeit von Turbogeneratoren ist es wichtig, rechtzeitig eine Tendenz der Verschlechterung ihres Zustandes zu erkennen und dadurch der Entstehung einer Havariesituation vorzubeugen. Das geschieht mit den Mitteln der technischen Diagnostik.
Diese und andere Methoden wurden zu allen Zeiten der Entwicklung des Turbogeneratorenbaues angewendet. In der Mehrzahl der Fälle waren das Prüfungen von Maschinen, die nach einem bestimmten Programm bei geplanten Reparaturen und Revisionen durchgeführt worden sind. Die einfachste funktionale Diagnose wurde durch das Kraftwerkspersonal auf der Grundlage einer Expertenabschätzung und durch die Analyse der Angaben realisiert, die durch operative Kontrollen gewonnen werden konnten.

1. Aufgabe der Diagnostik in der gegenwärtigen Etappe

Mit der Entwicklung der Rechentechnik ergab sich die Möglichkeit der Automatisierung der funktionalen Diagnose unter Anwendung von Algorithmen, die es zulassen, in einem möglichst frühen Stadium die Entstehung einer Havariesituation zu erkennen. Als rationell sind spezielle Einrichtungen der Betriebskontrolle und -diagnose anzusehen, die sowohl autonom als auch als Bestandteil der automatischen Steuerungssysteme der Blöcke und ihrer Programmausrüstung arbeiten können.
Informationen über den Turbogenerator und seine Hilfssysteme, die von einer solchen Einrichtung erfaßt werden, können in vier Gruppen eingeteilt werden:

1. Elektrische Kenngrößen: Wirkleistung und Blindleistung; Spannung und Strom von Ständer und Läufer, Frequenz, Anzahl der An- und Abfahrvorgänge, Lastaufnahmen und Lastabsenkungen, Kenngrößen asynchroner Betriebszustände, plötzlicher Kurzschlüsse, nichtsymmetrischer Betriebszustände und Lastschwankungen im Energiesystem.
2. Angaben über die Temperaturen der aktiven und konstruktiven Bauteile, der Kühlmittel (Wasser, Wasserstoff) und des Öls in den Lagern und Wellenabdichtungen.
3. Angaben über die Schwingungen von Baugruppen des Ständers, des Induktors und der Lager, über das Spektrum der Schallfrequenzen, den Schalldruck und das Schallniveau.
4. Angaben über die Leckverluste, den Verbrauch, den Druck, die chemische Zusammensetzung und die Feuchtigkeit der Kühlmedien.

Die Verarbeitung der Informationen vom Turbogenerator und seiner Hilfssysteme läuft in mehreren Etappen ab. In der ersten Etappe erfolgt die Feststellung einer Störung, einer Fehlhandlung des Betriebspersonals, eines Fehlers der Meßeinrichtungen während der vorgegebenen Zeit ihres Auftretens. Aufgaben solchen Typs bezüglich einzelner Defekte der Hilfssysteme des Turbogenerators werden auf der Grundlage einer Überprüfung der Werte der Parameter gelöst, die den Betrieb der Hilfssysteme vor dem Übergang zum höchsten Steuerungsvorgang charakterisieren. Erste Etappe der Diagnose kann die Feststellung von Anomalien in den Anzeigen der Meß- und Kontrollgeräte sein, die es ermöglichen, das Vorhandensein eines verborgenen Defektes zu ermitteln, aber nicht die Möglichkeit seiner Identifizierung liefern.
In der zweiten Etappe erfolgt eine zeitliche Darstellung der Tendenz und der Entwicklungsgeschwindigkeit des Defektes in Abhängigkeit von den Betriebsparametern. Mit diesen Angaben können Zeiträume festgelegt werden, in deren Verlauf der Generator seine Betriebsfähigkeit vollständig oder mit irgendwelchen Einschränkungen beibehalten kann. In dieser Etappe ist die gemeinsame Verarbeitung aller Formen von Meßparametern sehr wichtig. Um die Abhängigkeit anomaler Parameter vom Betriebszustand oder der Geschwindigkeit ihrer Veränderung (Übergangsvorgang) zu erkennen, kann ein beträchtlicher Zeitraum erforderlich sein, zumal wenn diese Betriebszustände nicht nach einer Belastungskennlinie verlaufen. Solche Abläufe können sich auch als schwer realisierbar erweisen, z. B. in bezug auf Kernkraftwerke, die in der Regel in stabilen Betriebszuständen nahe Nennbetrieb arbeiten.
Berücksichtigt man, daß sich bei komplizierten Fällen der Identifizierung von Defekten und der Festlegung der Verfahren und Zeiträume zu ihrer Beseitigung die Mittel der funktionalen Diagnose als nicht ausreichend erweisen können, müssen notwendige Kontrollprüfungen und dafür erforderliche Veränderungen der Betriebszustände vorgesehen werden. Dabei müßten in der Information für das Bedienungspersonal eine Fakten-Information und zuverlässige Empfehlungen enthalten sein, um falsche Abläufe und dadurch eine Diskreditierung des Diagnosesystems zu vermeiden.
Besonders wichtig ist die Vermeidung falscher Signale, da in der Regel bei den Diagnosesystemen Einrichtungen vorhanden sind, die auf Veränderung einzelner Parameter schnell reagieren. Solche Signale können durch kurzzeitige Übergangszustände hervorgerufen werden, die während des normalen Betriebes auftreten können.
Von den Methoden zur Bestimmung möglicher Schädigungen und der Geschwindigkeiten ihrer Entwicklung sind in bezug auf die vorhandenen Mittel der funktionalen Diagnose am effektivsten:

— Der Vergleich des aktuellen Zustandes des Generators oder seiner Baugruppen mit einem berechneten oder experimentell ermittelten Modell.
— Erfassung der Einflüsse von Betriebszuständen, deren Häufigkeit begrenzt ist (Anfahrvorgänge, Abfahrvorgänge, Lastabwürfe) oder solcher, die nicht empfohlen werden (unsymmetrische Belastung, Asynchronbetrieb, plötzliche Kurzschlüsse). Ihr Gesamteinfluß auf den Generator wird in der Regel durch die technischen Forderungen oder durch die Bedienanweisungen reglementiert. Dabei werden entsprechend der Häufigkeit des Auftretens dieser Betriebszustände Stillstände, Revisionen und falls notwendig auch eine Reparatur des Generators vorgesehen.
— Analyse der Übergangsvorgänge, nach deren Parametern in bestimmtem Umfang ein beobachteter Defekt identifiziert werden kann. Jeder Schritt der Diagnose muß eine Kontrolle auf Funktionstüchtigkeit und Richtigkeit der Meßmittel einschließen. Das Gerät selbst muß eine kontinuierliche Erfassung und Kontrolle der Meßwerte gewährleisten.

Bei der Auswahl von Algorithmen zur Diagnose und von Prinzipien ihrer Klassifizierung muß man besondere Aufmerksamkeit der Priorität der Defekte widmen. Dabei ist es zweckmäßig, daß die Erarbeitung und Realisierung der Algorithmen zum gegebenen Zeitpunkt auf üblichen Meßmitteln fußt und ökonomisch gerechtfertigte rechnerische Möglichkeiten nutzt. Zu solchen Meßmitteln zählen in erster Linie die Temperaturgeber und die Schwingungsgeber des Generators. Die Anzeigen dieser Meßmittel lassen sich hinreichend einfach unter Anwendung verhältnismäßig leistungsschwacher und billiger elektronischer Rechner verarbeiten.
Die allgemein üblichen Mittel zur Kontrolle und Diagnose können durch spezielle Mittel und Systeme ergänzt werden, und zwar:

— vibrationsakustische Systeme
— Einrichtungen der kontaktlosen Temperaturmessung
— Systeme zur Analyse von Drehschwingungen
— Einrichtungen zur Messung der Funkfrequenzabstrahlung
— Ionisationskammern und Gaschromatographen zur Erfassung örtlicher Überhitzungen.

In Tafel 1 sind mögliche Abläufe angegeben, die auf einfache Weise gegenwärtig schon realisiert werden können. Es wird deutlich, daß die Diagnose des Temperaturzustandes der Ständerwicklung und der mechanischen Beschädigungen des Induktors am wichtigsten sind.

2. Diagnose des Temperaturzustandes der Ständerwicklung

Wahrscheinlichster thermischer Defekt der Ständerwicklung ist die Verstopfung einzelner oder mehrerer Kühlkanäle. Zur Feststellung des Defekts müssen die Anzeigen zweier Widerstandsthermometer verwendet werden: die eines unter dem Keil eingebauten und die eines auf der Seitenfläche des Stabes angeordneten. Wie Untersuchungen der Temperaturfelder ergaben, ist die Ermittlung der Stelle der Verstopfung allgemein nur mit einer Ungenauigkeit von 3 bis 15% möglich [1]. Zusätzlich müssen die Anzeigen von Thermoelementen am Deionataustritt aus der Wicklung in Betracht gezogen werden.

Prof. Dr. sc. techn. *I. A. Glebov* ist Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und Direktor d. VNII Elektromaschinen. Prof. Dr. sc. techn. *Janush B. Danilevich* ist Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und Chefkonstrukteur im VNII Elektromaschinen Leningrad.

Die Anzeigen der Widerstandsthermometer werden zusammen mit den Betriebsparametern (Wirk- und Blindleistung, Scheinleistung, Spannung und Strom von Ständer und Induktor, Drehzahl) und auch mit den Meßwerten der Kaltgastemperatur sowie der Wassertemperatur am Gaskühlereintritt einem Prozeßrechner zugeführt. Von der Menge der Ausgangsdaten

$$\Theta_{i,\, i = 1,2,\ldots N} \tag{1}$$

erfolgt der Übergang auf die Mengen dimensionsloser Temperaturen; das ermöglicht es, den Einfluß der nichtkontrollierten Parameter der Belastung des Generators und des Betriebszustandes der äußeren Kühlsysteme auszuschalten. Es werden die Größen

$$\delta\Theta_i = \frac{\Theta_i - \vartheta}{\vartheta - \vartheta_0}, \quad = \frac{1}{N}\sum_N \Theta_i \tag{2}$$

in denen die Angaben über die Temperatur des Wassers ϑ_0 am Eintritt in die Wicklung verwendet werden, oder

$$\Delta\Theta_i = \Theta_i - \frac{1}{N}\sum_N \Theta_i; \quad \Delta\Theta = \frac{1}{N}\sum_N |\Delta\Theta_i|; \quad \delta = \frac{\Delta\Theta_i}{\Delta\Theta}, \tag{3}$$

in die nur die Elemente der Menge Θ_i eingehen, bestimmt.
Der Rechner liefert dann ein Signal, wenn die

- Temperaturdifferenz $\Delta\Theta_i$ 6 K im Leerlauf und 10 K bei voller Belastung überschreitet (dabei wird die zulässige Temperaturdifferenz bei Veränderung der Belastung vom Leerlauf auf Volllast als linear veränderlich angenommen)
- Kaltgastemperatur 48 °C
- Warmgastemperatur 70 °C
- Anzeige irgendeines Thermoelements, das im Kühlmittelstrom angeordnet ist, unabhängig von der Belastung 85 °C
- Anzeige eines beliebigen Widerstandsthermometers unabhängig von der Belastung 80 °C

überschreitet.
Der Rechner formt die Spannungssignale von den Thermoumformern in Temperaturen um, vergleicht die Werte der erfaßten Temperaturen mit deren Grenzwerten, bringt Angaben über Temperaturen bei Havariesituationen in den Speicher, liefert Kommandos für das automatische Ausdrucken und die Anzeige der Daten auf dem Bildschirm, berechnet die mittleren Temperaturen der Gebergruppen und identifiziert diejenigen Geber in jeder Gruppe, die die höchste und die niedrigste Temperatur anzeigen, und auch die Temperaturveränderungen einzelner Stäbe.

3. Diagnose des mechanischen Zustandes des Induktors

Auf der Grundlage der Vergleichmäßigung der unterschiedlichen Steifigkeiten des Induktors wurden in den letzten Jahren moderne Auswuchtmethoden eingeführt. Es konnten die Spannungskonzentrationen und örtlichen Erwärmungen bei nichtsymmetrischen Betriebszuständen herabgesetzt und die Ungleichmäßigkeit der Erwärmung der Induktorspulen insgesamt vermindert werden. Trotzdem bleibt die Wahrscheinlichkeit einzelner Störungsfälle bestehen. Deshalb ist die Diagnose des mechanischen Zustandes des Induktors angezeigt, will man einem Schaden am Induktor mit dem damit verbundenen längeren Stillstand des Blocks vorbeugen. Eine Diagnose kann auf Grund der Anzeige von Schwingungsgebern erfolgen, die in den Lagerdeckeln oder auf der Induktorwelle installiert sind und die die Änderung von Amplitude und Phase der Schwingungen erfassen.
Der Schwingungszustand des Induktors ist ein überaus empfindlicher Indikator möglicher Störungen [2] und verändert sich beim Auftreten von Rissen im Induktorkörper. Erhöhte Schwingungen werden durch thermische Unwucht auf Grund kurzgeschlossener Windungen in der Erregerwicklung, Verschiebung von Keilen, Störung der Kühlungssymmetrie bei Gaskühlung oder durch teilweise Verstopfung von Kanälen bei Flüssigkeitskühlung hervorgerufen.
Ursache erhöhter Schwingungen kann auch ein Abreißen des Ölfilms im Lager sein. In der Betriebspraxis kann eine Störung der Zentrierung der Wellenabdichtung auftreten.
Zur Diagnostizierung des Schwingungszustandes des Induktors werden die Amplituden X_n und die Phasen φ_n der Schwingungen zum gegebenen Zeitpunkt gemessen, ihre Differenz

$$Y_n = X_n - X_1, \quad \Theta_n = \varphi_n - \varphi_1 \tag{4}$$

und die Tendenz der Veränderung

$$|Y_{n+1}| - |Y_n| \tag{5}$$

sowie

$$|\Theta_N - \Theta_n| \tag{6}$$

bestimmt.
Wenn eine Erhöhung der Schwingungen durch Masseverlust gegeben ist, verändert sich die Größe (5) sprunghaft und bleibt im weiteren Verlauf unverändert, die Größe (6) verändert sich fast nicht. Bei einer thermischen Unwucht ergibt sich eine monotone Veränderung der Größe (5) mit einer Belastungsänderung, die Phase der Schwingungen verändert sich dabei wenig. Beim Anstreifen (Reibung) erfolgt die gleichzeitige Veränderung sowohl der Amplitude als auch der Phase der Schwingungen. Eine Rest-Unwucht wird durch einen periodischen Änderungscharakter der Amplitude und der Phase der Schwingungen charakterisiert.
Der Rechner führt eine Analyse der Schwingungsmeßwerte durch, vergleicht mit den zulässigen Werten und liefert das Kommando für ein Signal und die Anzeige der Werte auf dem Bildschirm. An dieser Stelle muß festgestellt werden, daß der zulässige Grenzwert der Schwingungen (doppelte Amplitude) gemäß [3] 120 µm beträgt.

Tafel 1. Möglicher Diagnose-Ablauf

Algorithmus	Zu messende Parameter			
	elektrische	Temperaturanzeige	mechanische	Angaben über die Kühlmittel und die Schmierung
1. Bestimmung der Angaben zu den An- und Abfahrvorgängen, Belastungen und Entlastungen, zum Betrieb mit Spannungs- und Frequenzabweichungen	+	+	+	
2. Kontrolle der Betriebszustände (Schieflast, Untererregung)	+	+	+	+
3. Diagnose des Temperaturzustandes der Ständerwicklung		+		+
4. Diagnose des Temperaturzustandes der Erregerwicklung	+	+	+	+
5. Diagnose von Windungsschlüssen der Erregerwicklung	+	+	+	+
6. Diagnose mechanischer Schäden des Induktors	+		+	
7. Diagnose der Wellenabdichtungen	+	+	+	+
8. Kontrolle des Bürstenapparates	+	+	+	
9. Diagnose der Gaskühler		+		+

4. Weitere Aufgaben

Zur breiten Einführung diagnostischer Methoden ist es notwendig, das Betriebspersonal von deren Effektivität zu überzeugen. Dabei spielen Erfassung und Analyse der Betriebskennziffern gemäß Ablauf in Tafel 1 eine große Rolle.
Ausgangspunkte können im ersten Stadium eine Information über den Zustand der Ausrüstung sowie Empfehlungen in bezug auf deren Betrieb und auf operative Eingriffe des Betriebspersonals sein. Mit Hilfe gesammelter Betriebserfahrungen mit den Diagnosesystemen und präzisen Ansprechkriterien ist eine direkte Einflußnahme auf die Steuer- und Schutzeinrichtungen der Turbogeneratoren möglich.
Die Schaffung von Diagnosesystemen ist ein langer und kontinuierlicher Prozeß. Da die meisten Defekte an Turbogeneratoren zufälligen Charakter haben, wäre die Entwicklung einer entsprechenden Ausrüstung notwendig, mit der entsprechende Erfahrungen gesammelt werden könnten.

Literatur

[1] *Vojjteko, N. S.; Gurevich, Eh. I.; Kartashova, T. N.:* Die Auffindung versteckter thermischer Defekte in den aktiven Teilen von Turbogeneratoren. Elektrichestvo (1986) 3, S. 28–34
[2] *Heard, I. G.:* Gesamtbericht über die Antworten zur Fragestellung der Betriebsüberwachung. Electra (1984) 96, S. 65–91
[3] Mechanische Probleme von Turbogeneratoren. Electra (1983) 86, S. 5–21

EA 5980

Verbesserte Erfassung des Dämpfersystems von Synchron-Vollpolmaschinen

G. Lemberg, KDT, Berlin

Im Jahre 1984 erfolgte auf Beschluß wirtschaftsleitender Organe der DDR die Konzentration und Spezialisierung der Produktion zweipoliger Drehstrom-Vollpol-Synchronmaschinen (Turbogeneratoren) im VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinats Kraftwerksanlagenbau Berlin [1]. Damit verbunden entstand die Aufgabe der kompletten vorleistungsseitigen Betreuung und Weiterentwicklung auch nichteigener Konstruktionen, beginnend mit der Überführung der zugehörigen Unterlagen und Dokumentationen in werksintern organisatorisch und technisch verwertbare Belege. Bei der berechnungsseitigen Eingliederung erfolgten Nachrechnungen der vom VEB Sachsenwerk Dresden übernommenen Turbogeneratortypen mit den im Stammbetrieb Bergmann-Borsig für die eigenen Erzeugnisse verwendeten EDV-Programmen. Dabei ergaben sich erwartungsgemäß Übereinstimmungen mit den übernommenen Dokumentationen rechnerischer und gemessener Ergebnisse, aber auch nicht vermutete Diskrepanzen in den Werten charakteristischer Reaktanzen, die die dynamischen Eigenschaften der Maschinen beschreiben.

Die Beschäftigung mit diesem Phänomen führte zur Veränderung der dem betreffenden Berechnungsprogramm als Basis dienenden Ersatzschaltbilder der Längs- und Querachse der Vollpolsynchronmaschine und zur Aufstellung eines im Sinne der „Zwei-Achsen-Theorie" erweiterten Berechnungsmodells, das allgemeiner ist bezüglich der Erfassung konstruktiver Unterschiede der Maschinen (was z.B. für die Übernahme von Rekonstruktionsaufgaben mit Maschinen anderer Hersteller bedeutsam ist), das aber gleichzeitig detaillierter in der Darstellung der Einzelheiten der Kreise des Rotors ist.

1. Ursache der aufgetretenen Diskrepanzen bei der Reaktanzberechnung

Der Grund der beobachteten Diskrepanzen, die sich im Extremfall in einem physikalisch nicht mehr sinnvollen Ergebnis $x_{a\sigma} \geqq x_d''$ ($x_{a\sigma} \triangleq$ bezogene Ankerwicklungsstreureaktanz; $x_d'' \triangleq$ bezogene Längsachsen-Subtransient-Reaktanz) ausdrückten, war in der Maschinenkonstruktion zunächst dadurch gelegt, daß die nachgerechneten Generatoren keine explizit ausgebildete Dämpferwicklung besaßen.

Aus der nach [2] [3] verwendeten Beziehung für

$$x_d'' = x_c + \frac{1}{\frac{1}{x_d - x_c} + \frac{1}{x_{fc}} + \frac{1}{r_{DFe\gamma}}} \tag{1}$$

mit

$$x_c = x_{a\sigma} + \frac{x_{ad}}{1 + \alpha_{fF}} \left(1 + \alpha_{fD} - \frac{C_{fd1}}{C_{ad1}}\right) \tag{2}$$

der sog. Canayschen Reaktanz, folgt für den Fall fehlender Dämpferwicklung, daß der zusätzliche Streukoeffizient α_{fD}, der die Streufeldkopplung zwischen Feld- und Dämpferwicklung auf dem Rotor berücksichtigt, formal Null wird und wegen des erfahrungsgemäß stets mit einem Wert > 1 vorliegenden Verhältnisses C_{fd1}/C_{ad1} der Polformkoeffizienten der Feld- und Ankerwicklung die Canaysche Reaktanz $x_c < x_{a\sigma}$ sowie bei x_d'' die Verringerung des x_c durch den Wert des restlichen Ausdrucks nicht mehr kompensiert wird.

Die eigentliche Ursache des Versagens der Beziehungen liegt aber im Berechnungsmodell, in dem die alleinige Bindung der Erfassung der Streufeldkopplungen von nur zwei Kreisen des Rotors an das Vorhandensein einer Dämpferwicklung erfolgt ist und es beim Fehlen derselben zwangsläufig zum Versagen kommen muß. Es ist demgegenüber jedoch hinlänglich bekannt, daß selbst dann, wenn keine Dämpferwicklung vorhanden ist, eine Subtransient-Reaktanz $x_d'' > x_{a\sigma}$ existiert, da weitere Rotorkreise wie Keilsystem und Rotoreisen dafür hinreichende Dämpfersysteme bilden.

Die Aufgabe bestand daher in der entsprechenden Korrektur und Verbesserung des Rechenmodells, z.B. ausgedrückt in geeigneten Ersatzschaltbildern der Längs- und Querachse des Turbogenerators.

2. Ableitung des Ersatzschaltbildes

Zur Beschreibung der Flußverkettungen der Synchronmaschine wird vom üblichen reziproken Bezugssystem ausgegangen, das symmetrische Reaktanzmatrizen liefert und für alle erfaßten Kreise der Maschine Bezugsleistungsgleichheit verwendet.

Des weiteren werden die Anteile α der Streuungen (der Kreise oder Wicklungen), bezogen auf den verketteten Grundwellenfluß, als Verhältnis Streureaktanz zu Hauptreaktanz dieser Kreise oder Wicklungen als Streukoeffizienten eingeführt. Zwischen Wicklungen auf verschiedenen Seiten des Maschinenluftspalts vermitteln übliche Gegenreaktanzen, für Wicklungen auf der gleichen Seite des Luftspalts solche mit Berücksichtigung gemeinsamer Streuflußverkettungen. Eine derartige Gegenreaktanz enthält daher einen Hauptfeldanteil (vergleichbar dem Hauptreaktanzanteil einer Wicklungseigenreaktanz) und einen Streufeldanteil für den gemeinsamen Streufluß, der nicht zum luftspaltüberquerenden Haupt- oder Nutzfluß gehört.

Als Beispiel für Gegenreaktanzen der ersten Art diene X_{afd}, die Gegenreaktanz zwischen Anker- und Feldwicklung (in der Längsachse). Aus den nichtbezogenen Größen $X_{ad} = x_{ad} Z_n = x_{ad} U_{aB}/I_{aB}$) für die Ankerhauptreaktanz und $X_{fd} = x_{fd} Z_{fB} = x_{fd} (U_{fB}/I_{fB})$ für die Feldwicklungshauptreaktanz ergibt sich entsprechend der Definition der Gegenreaktanz $\omega M = \omega \sqrt{L_{1h} L_{2h}}$ durch Multiplikation:

$$X_{ad} X_{fd} = x_{ad} x_{fd} \frac{\sqrt{2}\, U_n}{\sqrt{2}\, I_n} \frac{3\, U_n I_n}{(\sqrt{2}\, U_n x_{ad})\, 2} X_{afd}^2 = \frac{3}{2} X_{afd}^2$$

$$= \frac{3}{2} \Lambda_0^2 w_a^2 \xi_{a1}^2 w_{fd}^2 \xi_{fd1}^2 C_{ad1} C_{fd1} \tag{3}$$

und somit

$$X_{afd} = \Lambda_0 w_a \xi_{a1} w_{fd} \xi_{fd1} \sqrt{C_{ad1} C_{fd1}} \tag{4}$$

(Bezeichnungen nach [3].)

Am Beispiel der Gegenreaktanz zwischen Feld- und Dämpferwicklung läßt sich der andere Gegenreaktanztyp zeigen:

$$X_{Dfd} = \Lambda_0 w_D \xi_{D1} w_{fd} \xi_{fd1} \sqrt{C_{Dd1\gamma} C_{fd1}} (1 + \alpha_{fD}) \tag{5}$$

mit

$$\alpha_{fD} = \alpha_D \frac{\xi_{D1}}{\xi_{fd1}} \sqrt{\frac{C_{Dd1\gamma}}{C_{fd1}}} \tag{6}$$

worin

$$X_{Dfd(h)} = \Lambda_0 w_D \xi_{D1} w_{fd} \xi_{fd1} \sqrt{C_{Dd1\gamma} C_{fd1}} \tag{5a}$$

dem Hauptfeldanteil und

$$X_{Dfd(\sigma)} = \Lambda_0 w_D \xi_{D1} w_{fd} \xi_{fd1} \sqrt{C_{Dd1\gamma} C_{fd1}}\, \alpha_{fD} \tag{5b}$$

dem gemeinsamen Streuflußanteil entspricht.

Eine auf dieser Grundlage mögliche Erfassung weiterer Kreise des Rotors führt zunächst formal zu zusätzlichen Eigen-, Haupt- und Streureaktanzen z.B. für das Eisen-Dämpfersystem des Rotorballens in der Längs- und Querachse und zu entsprechenden Ausdrücken für das Nutverschlußkeil-Dämpfersystem.

Zwischen diesen neu hinzukommenden und allen bisherigen Eigenreaktanzen vermitteln folgerichtig bekannte und neue Gegenreaktanzen als Ausdruck der Flußverkettung der beteiligten Wicklungen oder Kreise. Zum Beispiel ist die Ankerwicklung des Stranges a in der d-Achse mit der Feldwicklung fd, der expliziten Dämpferwicklung Dd, dem Ballen- und Zahneisen-Dämpferkreis Fd und dem Nutverschlußkeil-Dämpferkreis Ad des Rotors gekoppelt (Flußverkettung ψ_{ad}):

$$\psi_{ad} = x_d i_d + x_{aDd} i_{Dd} + x_{afd} i_{fd} + x_{aFd} i_{Fd} + x_{aAd} i_{Ad}. \tag{7}$$

Die Kopplung erfolgt durch den über den Luftspalt tretenden (Grundwellen-) Haupt- oder Nutzfluß der Maschine.

Im gewählten Bezugssystem sind dabei alle bezogenen Gegenreaktanzen gleich:

$$x_{aDd} = x_{afd} = x_{aFd} = x_{aAd} = x_{ad}. \tag{8}$$

Dr.-Ing. *Günter Lemberg* ist F/E-Komplexthemenleiter im VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinats Kraftwerksanlagenbau Berlin.

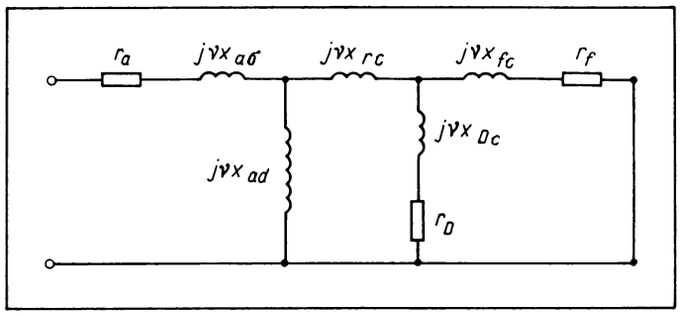


Bild 1. Längsachsen-Ersatzschaltbild einer Synchronmaschine mit drei Kreisen
r_a bezogener Ankerwicklungswiderstand (je Strang)
$x_{aσ}$ bezogene Ankerwicklungsstreureaktanz
x_{ad} bezogene (Anker-)Hauptreaktanz
x_{rc} bezogene (ideelle) gemeinsame Streureaktanz der Rotorkreise
x_{fc} bezogene (ideelle) Streureaktanz der Feldwicklung
x_{Dc} bezogene (ideelle) Streureaktanz der Dämpferwicklung
r_f bezogener Feldwicklungswiderstand
r_D bezogener Dämpferwicklungswiderstand

Für die Dämpferwicklung Dd ergibt sich dagegen:

$$\psi_{Dd} = x_{Dad}\, i_d + x_{DDd}\, i_{Dd} + x_{Dfd}\, i_{fd} + x_{DFd}\, i_{Fd} + x_{DAd}\, i_{Ad}. \quad (9)$$

Es ist zwar $x_{Dad} = x_{aDd} = x_{ad}$, aber für Wicklungen oder Kreise auf der gleichen Luftspaltseite kommt die Kopplung über gemeinsame Streuflüsse hinzu. Die betreffenden Gegenreaktanzen sind ungleich x_{ad}, lediglich ihr oben genannter „Hauptreaktanzanteil" entspricht der Ankerhauptreaktanz, z.B. $x_{Dfd} = x_{Dfd(h)}(1 + \alpha_{FD}) = x_{ad}(1 + \alpha_{fD})$. Die für die Längsachse zwischen Flußverkettungen und Kreisströmen vermittelnde Reaktanzmatrix ergibt sich damit zu:

$$x_{ad}\begin{vmatrix} (1+\alpha_d) & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & (1+\alpha_D) & (1+\alpha_{fD}) & (1+\alpha_{FD}) & (1+\alpha_{AD}) \\ 1 & (1+\alpha_{fD}) & (1+\alpha_f) & (1+\alpha_{Ff}) & (1+\alpha_{Af}) \\ 1 & (1+\alpha_{FD}) & (1+\alpha_{Ff}) & (1+\alpha_{F(d)}) & (1+\alpha_{AF(d)}) \\ 1 & (1+\alpha_{AD}) & (1+\alpha_{Af}) & (1+\alpha_{AF(d)}) & (1+\alpha_{A(d)}) \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Auf analoge Weise kann die Reaktanzmatrix der Querachse hergeleitet werden. Beide Matrizen können im Bedarfsfall durch weitere Kreise und entsprechend einzuführende Größen erweitert werden.

Während alle auf der Hauptdiagonalen stehenden Klammern Streukoeffizienten der eingangs erwähnten Definition enthalten, d.h. die Hauptdiagonalenelemente die Kreis-Eigenreaktanzen darstellen, sind alle weiteren Plätze, die die Rotorkreise mit gemeinsamen Streuflüssen betreffen, durch zusätzliche Streukoeffizienten enthaltende Klammern belegt, die aber ihrerseits auf die Streukoeffizienten der Hauptdiagonalen zurückgeführt werden können:

α_{fD} siehe (6)

$$\alpha_{FD} = \alpha_{F(d)}\,(\xi_{Fd1}/\xi_{D1})\,\sqrt{C_{Fd1\gamma}/C_{Dd1\gamma}}, \quad (11)$$

$$\alpha_{AD} = \alpha_{A(d)}\,(\xi_{Ad1}/\xi_{D1})\,\sqrt{C_{Ad1\gamma}/C_{Dd1\gamma}}, \quad (12)$$

$$\alpha_{Ff} = \alpha_{F(d)}\,(\xi_{Fd1}/\xi_{fd1})\,\sqrt{C_{Fd1\gamma}/C_{fd1}}, \quad (13)$$

$$\alpha_{Af} = \alpha_{A(d)}\,(\xi_{Ad1}/\xi_{fd1})\,\sqrt{C_{Ad1\gamma}/C_{fd1}}, \quad (14)$$

$$\alpha_{AF(d)} = \alpha_{A(d)}\,(\xi_{Ad1}/\xi_{Fd1})\,\sqrt{C_{Ad1\gamma}/C_{Fd1\gamma}}. \quad (15)$$

Für die Querachse folgen analoge Ausdrücke für α_{FQ}, α_{AQ}, $\alpha_{AF(q)}$. Die Wicklungsfaktoren ξ_{Fd1}, ξ_{Ad1}, ξ_{Fq1}, ξ_{Aq1} sind analog denen für die Dämpferwicklungen der Längs- und Querachse:

$$\xi_{D1} = \frac{2p}{w_D}\sum_{i=1}^{\gamma N_2/4p}\cos^2\left(i-\frac{1}{2}\right)\alpha_{Nut}, \quad (16)$$

$$\xi_{Q1} = \frac{2p}{w_D}\sum_{i=1}^{\gamma N_2/4p}\sin^2\left(i-\frac{1}{2}\right)\alpha_{Nut}, \quad (17)$$

bestimmbar. Die Windungszahlen w_{Ad} und w_{Aq} stimmen mit w_D überein, lediglich für w_{Fd} und w_{Fq} ist (näherungsweise) von der Gesamtnutteilungszahl N_2 des Induktors w_D zu subtrahieren:

$$w_{Fd,q} \approx N_2 - w_D. \quad (18)$$

Die Streukoeffizienten der Kreis-Eigenreaktanzen ergeben sich in bekannter Weise [3] aus der Maschinengeometrie, z.B. für die Längsdämpferwicklung zu:

$$\alpha_D = \frac{x_{D\sigma}}{x_{Dd}} = \frac{p\,\pi\,\delta_i}{D_i\, w_D\, \xi_{D1}\, C_{Dd1\gamma}}(\lambda_{DN} + \lambda_{DK} + \lambda_{De}) \quad (19)$$

und für die übrigen Rotorkreise analog oder ähnlich. Die enthaltenen Polformkoeffizienten folgen ebenfalls nach [3] und für die neuen Größen in vergleichbarer Weise.

Es ist auch nicht schwierig, alle noch fehlenden Größen des reziproken Bezugssystems mit symmetrischer Reaktanzmatrix und Bezugsleistungsgleichheit aller Kreise anzuschreiben.

Wie in [2] nachgewiesen ist, erfolgt mit der Wahl der letzten Größe x des Bezugssystems zu $x = 0$, $x = x_{aσ}$ oder $x = x_c$ die Festlegung verschieden aufgebauter, physikalisch aber gleichwertiger Ersatzschaltbilder. Für diese ideelle Streureaktanz x des Ankers ist für die Forderung, daß ausnahmslos alle bezogenen Gegenreaktanzen gleich groß sein sollen, x zu x_c zu wählen.

Für ein Maschinenmodell mit drei Kreisen in der d-Achse, wo $x_{Dfd} = x_{fDd}$ als einzige Gegenreaktanz der oben genannten zweiten Art auftritt, definiert eine zusätzliche Formvorschrift [2]

$$x_{Dfd} = \frac{(x_d - x)^2}{x_d - x_c} = \frac{(1+\alpha_{fD})}{x_{ad}}(x_d - x)^2 \quad (20)$$

die Größe x_c zu

$$x_c = x_{aσ} + x_{ad}\left(\frac{\alpha_{fD}}{1+\alpha_{fD}}\right). \quad (21)$$

Will man diese Formvorschrift auf die „neuen" Gegenreaktanzen ausdehnen, muß die Gleichheit aller Streukoeffizienten der gemeinsamen Streuungen vorausgesetzt werden, was sicher unrealistisch ist. Läßt man diese zusätzliche Formvorschrift fallen, ist die Größe x

Bild 2. Längsachsen-Ersatzschaltbild für eine Synchronmaschine mit fünf Kreisen

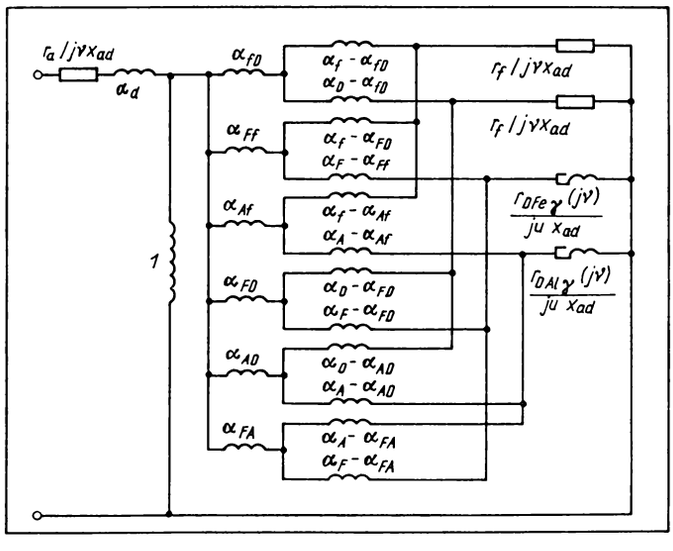
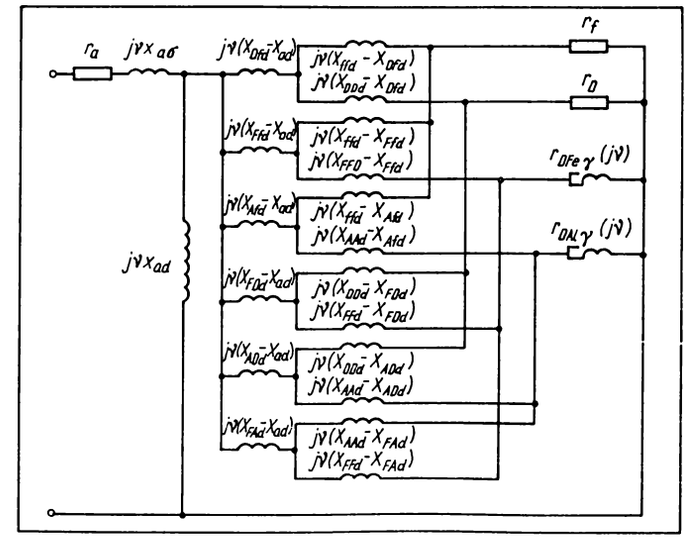


Bild 3. Auf die Maschinenhauptreaktanz bezogenes Längsachsenersatzschaltbild einer Synchronmaschine mit fünf Kreisen



auch im neuen Modell die einzig frei wählbare Größe und könnte z. B. $x = x_c$, aber in anderer Form als (21) sein. Um alle Schwierigkeiten zu umgehen, die mit der Bindung von Ankerkreisgrößen an Rotorkreise entstehen können, ist es sicher vorteilhaft, diese Forderung $x = x_c$ fallen zu lassen und auf die allgemeinere Festlegung $x = x_{a\sigma}$ zurückzugehen — wie bei (10) bereits geschehen. Dabei wird das Auftreten von ideellen gemeinsamen Streufluß-Kopplungs-Reaktanzen der Rotorkreise im Ersatzschaltbild in Kauf genommen. Jede Wicklung erzeugt erst ihren (ideellen) Streufluß (ideelle Eigen-Streureaktanzen), dann mit einer weiteren Wicklung der gleichen Luftspaltseite den gemeinsamen Streufluß (gemeinsame ideelle Streureaktanz). Der alle Wicklungen koppelnde Haupt- oder Nutzfluß wird von der alleinigen Hauptreaktanz x_{ad} repräsentiert.
Für eine stark vereinfachte Maschine mit Ankerwicklung, Feld- und Dämpferwicklung in der Längsachse ergibt sich dann das Ersatzschaltbild (Bild 1), das sich von älteren Darstellungen durch das Hinzutreten der gemeinsamen Streureaktanz der Feld- und Dämpferwicklung unterscheidet (x_{rc}).
Genauer ergeben sich:

$$x_{ad} = x_d - x_{a\sigma},$$

$$x_{rc} = x_{Dfd} - x_{ad},$$

$$x_{fc} = x_{ffd} - x_{Dfd},$$

$$x_{Dc} = x_{DDd} - x_{Dfd}. \qquad (22)$$

Die Ausweitung auf weitere Rotorkreise ist nunmehr nicht kompliziert (Bild 2).
Drückt man alle im Bild 2 angegebenen bezogenen Reaktanzen durch die Hauptreaktanzen x_{ad} und die eingeführten Streukoeffizienten aus, ergibt sich nach Division aller Größen durch $j\,\nu\,x_{ad}$ ein sehr übersichtliches Ersatzschaltbild (Bild 3) als Grundlage der numerischen Bestimmung verschiedener charakteristischer Reaktanzen.

3. Bestimmung charakteristischer Reaktanzen für nicht stationären Betrieb

Das einprägsamste Beispiel für den nichtstationären Betrieb der Synchronmaschine ist — beinahe schon traditionell — der Stoßkurzschlußvorgang. Erfolgt z. B. der Klemmenkurzschluß aus Leerlauf in der sog. 1. Hauptlage, wo die Ersatzwicklungen von Stator und Rotor (je 1 Wicklung) senkrecht zueinander stehen, muß der Stator den Fluß Null, der Rotor den vollen Leerlauffluß auf dem Hauptflußweg ausbilden. Resultierend ergibt sich etwa der halbe Leerlauffluß, die andere Hälfte müssen beide Wicklungen auf den Streuwegen erregen, und zwar im Stator zur Ergänzung beider Hälften zu Null, beim Rotor zum vollen Flußwert.
Erfolgt der Kurzschluß in der 2. Hauptlage, wo beide Ersatzwicklungsachsen übereinstimmen, versuchen beide Wicklungen den vollen Leerlauffluß auf dem Hauptflußweg zu halten.
Nach 1/2 Periode haben beide Flüsse entgegengesetzte Richtungen und heben sich auf dem Hauptflußweg auf, der resultierende Fluß ist (annähernd) Null. Beide Wicklungen müssen etwa den vollen Leerlauffluß auf ihren Streuwegen entwickeln.
Sind nun auf dem Rotor mehrere Wicklungen oder Kreise, die wie Wicklungen wirken oder durch solche ersetzbar gedacht werden können, so ergibt sich an den oben angeführten Gesetzmäßigkeiten keine Änderung. Sie gelten weiter exakt für eine Ersatzwicklung des Rotors, die alle in Frage kommenden Rotorkreise zu ersetzen hat. Das ist z. B. die Verfahrensweise, die unter Anwendung der „Methode der finiten Elemente" bei der Berechnung charakteristischer Reaktanzen x_d' oder x_d'' benutzt wird [5]. Das Prinzip der Flußkonstanz erzwingt aber, daß alle real vorhandenen Rotorwicklungen oder -kreise die zum Kurzschlußzeitpunkt umfaßten Flüsse (zunächst) beibehalten.
Wird dieses Prinzip nur auf eine Wicklung des Rotors, z. B. die Erregerwicklung, allein angewandt, d. h. also a priori angenommen, daß im betrachteten Betriebsfall nur diese eine Rotorwicklung den „Kompensationsstrom" (zunächst) führt, muß sich als Längsachsen-Reaktanzoperator-Größe das klassische x_d' ergeben — aber eben quasi per definitionem. Analog ergibt sich mit der Dämpferwicklung das klassische x_d''.
Real sind jedoch — wenn auch in sehr unterschiedlichem Maße — alle Rotorkreise zu endlichen Zeitpunkten nach dem Kurzschlußaugenblick bis zum Erreichen des stationären Dauerkurzschlußstroms an der Erfüllung des Prinzips der Flußkonstanz (von Dämpfungen abgesehen) beteiligt.
Welche Wicklung oder welcher Rotorkreis zu welchem Zeitpunkt

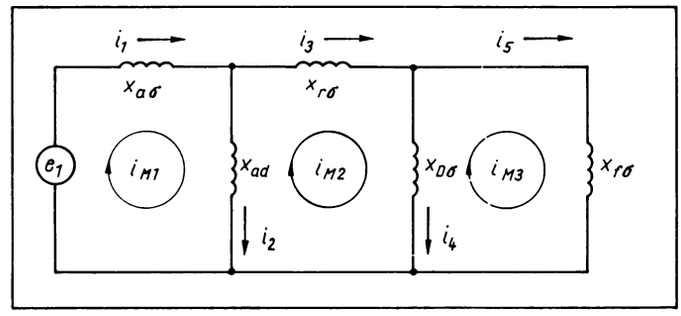


Bild 4. Teilnetzwerk zur Reaktanzberechnung

in welchem Maße beteiligt ist, hängt offensichtlich davon ab, wie sich die Ströme zur Aufrechterhaltung der im Kurzschlußaugenblick umfaßten Flüsse in den einzelnen Kreisen ausbilden können. Zu bestimmten Zeitpunkten können bestimmte Rotorkreise gegenüber anderen überwiegen, vernachlässigt werden oder wirkungslos sein. Das kann im Nachhinein z. B. zur Bindung von x_d'' an die Dämpferwicklung führen — als brauchbare oder gute Näherung — jedoch nicht a priori. Das wäre gleichzeitig auch eine Möglichkeit der „Definition" dieser Größe, wenn auch keine exakte. Die heute allgemein anerkannte Definition umgeht das Problem, nimmt keine Bauteilbindung vor, indem diese Größen an Zeitabschnitte des Verlaufs des abklingenden Stoßkurzschlußstromes (Anfangswert, Übergangswert, Dauerwert) gebunden werden. Diese Vorgehensweise beruht auf der Annahme, daß dieser Abklingvorgang in überlagerte e-Funktionen zerlegbar sei [4], was ebenfalls nicht exakt ist [2].
Es ist naheliegend, die transiente oder subtransiente Reaktanz so zu ermitteln, daß, ausgehend von einem prinzipiell beliebigen, jedoch vorzugsweisen einfach überschaubarem stationären Betriebszustand (z. B. Leerlauf) und dem dazugehörigen Zustand der Feldverteilung in der Maschine im Kurzschlußmoment, die für diesen Moment festgestellte Flußverkettung aller Wicklungen erhalten bleibt und als Funktion der Zeit Entstehung und Verlauf der diese Verkettung aufrechterhaltenden Ströme in jeweils allen betroffenen Wicklungen oder Kreisen errechnet wird, ggf. iterativ. Die Strombegrenzung im Statorkreis erfolgt durch die gesuchte Reaktanz, die dann z. B. als zeitveränderlicher Wert des Längsachsen-Reaktanzoperators erscheint. Die Interpretation des Ablaufs durch mehrere, auch betriebszustandsbedingte Reaktanzen und Zeitkonstanten bietet sich an [4].
Für die praktische Berechnung auf der Grundlage eines ausgedehnten Ersatzschaltbildes bleiben bei vertretbarem Aufwand letztlich nur Verfahren anwendbar, die für lineare Netzwerke benutzt werden. Beschränkt man sich auf die imaginären Elemente der Ersatzschaltbilder als Netzwerkselemente, können die Zweigströme aus den eingeführten Maschenströmen über eine sogenannte Verknüpfungsmatrix bestimmt werden. Die Matrix der selbständigen Maschenströme errechnet sich aus:

$$(\boldsymbol{i}_M) = [(\boldsymbol{C})'\,(\boldsymbol{Z})\,(\boldsymbol{C})]^{-1}\,(\boldsymbol{C})'\,(\boldsymbol{e}). \qquad (23)$$

$(\boldsymbol{i}_M)$ Matrix der Maschenströme
$(\boldsymbol{C})$ Verknüpfungsmatrix zwischen Zweigen und Maschen
$(\boldsymbol{C})'$ transponierte Matrix von $(\boldsymbol{C})$
$(\boldsymbol{Z})$ Impedanzmatrix, deren Hauptdiagonalen-Elemente den Gesamtreaktanzen der Zweige entsprechen, Nebenelemente nicht besetzt, wenn keine übergreifenden magnetischen Kopplungen vorhanden sind
$[\cdots]^{-1}$ inverse Matrix (z. B. mit Adjunkten-Verfahren bestimmbar)
$(\boldsymbol{e})$ Matrix ggf. vorhandener Urspannungen.

Als einfaches Beispiel sei die Herleitung der Beziehung für das klassische x_d'' aus einem als lineares Netzwerk aufgefaßtem Ersatzschaltbild der Längsachse einer Synchronmaschine mit drei Kreisen angeführt:
Im Ersatzschaltbild nach Bild 2 werden alle ohmschen Widerstände gleich Null gesetzt und Eisen- sowie Keil-Dämpfersystem nicht berücksichtigt. Dann verbleibt als Netzwerk Bild 4.
In (23) werden:

$$(\boldsymbol{C}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (\boldsymbol{C})' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$(\boldsymbol{Z}) = \begin{pmatrix} x_{a\sigma} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_{ad} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_{r\sigma} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_{D\sigma} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{f\sigma} \end{pmatrix}; \quad (\boldsymbol{e}) = \begin{pmatrix} e_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

und damit

$$[(\boldsymbol{C})'\,(\boldsymbol{Z})\,(\boldsymbol{C})] = (\boldsymbol{A}) = \begin{pmatrix} x_d & -x_{ad} & 0 \\ -x_{ad} & (x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{D\sigma}) & -x_{D\sigma} \\ 0 & -x_{D\sigma} & x_{D\sigma} + x_{f\sigma} \end{pmatrix}$$

und mit Sarrusscher Regel:

$$\det \boldsymbol{A} = x_d\,(x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{D\sigma})\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) - x_d\,(x_{D\sigma}{}^2) - x_{ad}{}^2\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma})\,.$$

Mit Adjunkten-Verfahren folgt:

$$\boldsymbol{A}_{ik} = \begin{pmatrix} (x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{d\sigma})\,(x_{d\sigma} + x_{f\sigma}) - x_{D\sigma}{}^2 & x_{ad}\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) & x_{ad}\,x_{D\sigma} \\ x_{ad}\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) & x_d\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) & x_d\,x_{D\sigma} \\ x_{ad}\,x_{D\sigma} & x_d\,x_{D\sigma} & x_d\,(x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{D\sigma}) - x_{ad}{}^2 \end{pmatrix}$$

und schließlich:

$$\frac{\boldsymbol{A}_{ik}}{\det \boldsymbol{A}}\,(\boldsymbol{C})'\,(\boldsymbol{e}) = \begin{pmatrix} i_{M1} \\ i_{M2} \\ i_{M3} \end{pmatrix} = \frac{1}{\det \boldsymbol{A}} \begin{pmatrix} [(x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{D\sigma})\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) - x_{D\sigma}{}^2]\,e_1 \\ [x_{ad}\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma})]\,e_1 \\ [x_{ad}\,x_{D\sigma}]\,e_1 \end{pmatrix};$$

$$\frac{i_{M1}}{e_1} = \frac{1}{x_1} = \frac{(x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{D\sigma})\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) - x_{D\sigma}{}^2}{x_d\,(x_{ad} + x_{r\sigma} + x_{D\sigma})\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma}) - x_d\,x_{D\sigma}{}^2 - x_{ad}{}^2\,(x_{D\sigma} + x_{f\sigma})}.$$

Hieraus folgt nach Umformungen:

$$x_1 = x_{a\sigma} + \frac{x_{ad}\left(x_{r\sigma} + \dfrac{x_{D\sigma}\,x_{f\sigma}}{x_{D\sigma} + x_{f\sigma}}\right)}{x_{ad} + x_{r\sigma} + \dfrac{x_{D\sigma}\,x_{f\sigma}}{x_{D\sigma} + x_{f\sigma}}},$$

was genau der Ersatzschaltung entspricht. Wenn nur die Werte des Reaktanzoperators $x_1 = e_1/i_{M1}$ zu berechnen sind, ist die Zweigstromberechnung nicht erforderlich.

Der Vorteil des Verfahrens kommt bei höherer Anzahl der beteiligten Rotorkreise zum Vorschein, wo die Anschaulichkeit im Unterschied zum gezeigten einfachen Beispiel nicht mehr gegeben ist.

4. Schlußbemerkung

Es bleibt, darauf hinzuweisen, daß die Rechtfertigung der formalen Einführung neuer Gegenreaktanzen und Streukoeffizienten der gemeinsamen Streufeldkopplungen einerseits und die Ermittlung von x_d' und x_d'' sowie x_q'' andererseits gegenwärtig für jeden interessierenden einzelnen Betriebszustand und bei vorgegebenen konstruktiven und werkstoffseitigen Eigenschaften einzelner konkreter Maschinen oder Maschinenausschnitte als Problemlösung nur mit der Methode der finiten Elemente möglich erscheint.

Literatur

[1] *Hilliger, W.; Krüger, W.-D.; Lemberg, G.:* Bau und Weiterentwicklung von zweipoligen Turbogeneratoren kleiner Leistung. Mitteilungen aus dem Kraftwerksanlagenbau der DDR, Berlin 26 (1986) 2, S. 49–55

[2] *Canay, M.:* Ersatzschemata der Synchronmaschine sowie Vorausberechnung der Kenngrößen mit Beispielen. Dissertation. Ecole Polytechnique de l'Universite de Lausanne 1968

[3] *Lemberg, G.:* Über den Einfluß vorgegebener Werte charakteristischer Reaktanzen auf die Auslegung von zweipoligen Synchron-Vollpolmaschinen für 50-Hz-Drehstrom (Turbogeneratoren). Dissertation. Technische Universität Dresden 1975

[4] *Canay, M.:* Identifikation und Ermittlung der Parameter von Synchronmaschinen. Brown Boveri Mitteilungen (1984) 6/7, S. 299–304

[5] *Ashtiani, C. N.; Lowther, D. A.:* Simulation of the transient and subtransient reactances of a large hydrogenerator by finite elements. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems PAS-103 (1984) 7, S. 1788–1794

EA 5981

Verhalten der Durchschlagspannung einer Glimmerpapier-Isolieranordnung bei elektrischer Alterung

H. Pärsch, KDT, Berlin; F. Müller, KDT, Ilmenau

Ein weit verbreitetes Mittel zur Diagnose der Wicklungsisolierung von rotierenden Hochspannungsmaschinen ist die Durchführung einer Stehspannungsprüfung mit Spannungen, die in der Regel höher sind als die im normalen Betrieb auftretenden elektrischen Beanspruchungen. Es wird erwartet, daß Schwachstellen eliminiert werden und die erfolgreiche Prüfung eine Spannungsfestigkeit der Wicklungsisolierung nachweist, die einen störungsfreien Betrieb in der auf die Prüfung folgenden Periode sichert.

Anlaß für die folgenden Untersuchungen waren Wicklungsausfälle trotz bestandener Spannungsprüfungen [1], zudem Durchschläge bei aufeinanderfolgenden Spannungsprüfungen nach einer bestandenen Prüfung bei deutlich niedrigeren Spannungen.

Es erfolgte an einer einfachen Modellanordnung die Messung der Durchschlagwechselspannung in Abhängigkeit von der Dauer der elektrischen Alterung. Dabei interessierte besonders das Verhalten am Ende der elektrischen Lebensdauer.

1. Versuchsstrategie

Als experimentell gesichert gilt die Beziehung zwischen der Durchschlagspannung U_d und der Durchschlagzeit t_d im interessierenden Spannungs- und Zeitintervall, durch die Wurzelfunktion

$$U_d = k_d\,t_d^{-\frac{1}{n}} \tag{1}$$

ausgedrückt [2].

Den Versuchen lag die Überlegung zugrunde, daß sich dann, wenn an eine Isolieranordnung bei einer ausreichend großen Anzahl von Prüflingen eine konstante Spannung so lange angelegt wird, bis näherungsweise die Hälfte der Meßstellen durchgeschlagen sind, unter den verbliebenen Prüflingen ein Anteil von solchen befinden muß, deren elektrische Lebensdauer nahezu vollständig verbraucht ist und daß sich das in der Höhe der Durchschlagspannung bei einer anschließenden Messung mit schneller Spannungssteigerung ausdrücken müßte.

Zur Erläuterung dieser Vorstellung enthält Bild 1 die Lebensdauerkennlinie nach (1), die Stehspannung U_{st} und die Häufigkeitsverteilung der Durchschlagzeit $h\,(t_d)$ um ihren Erwartungswert $\bar{t}_d$. Der schraffierte Bereich kennzeichnet die durchgeschlagenen Proben.

2. Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung sollte folgende Randbedingungen erfüllen:

- eine ausreichende Anzahl von Meßstellen mit einem zeitlich und kostenmäßig vertretbarem Aufwand
- praktisch identische Meßstellen
- Durchschlag im Grundfeld
- keine Oberflächenentladungen.

Nach einer Anzahl von Vorversuchen wurde eine Anordnung gewählt (Bild 2), die aus drei Schichten des Glimmerpapier-Isolierbandes Novomikaband 270 (R) — unter einem Druck von 0,8 MPa miteinander verpreßt und auf die Dicke von 0,3 mm verdichtet — besteht. Spannungführende Elektrode war eine Kupferscheibe von 20 mm Durchmesser, in eine weitere Schicht aus Novomikaband 270 eingebettet. Die Gegenelektrode bildete eine durchgehende Aluminiumfolie. Verdichten der Isolierung und Aufbringen der Elektroden erfolgte in einem Arbeitsgang. Zur Vermeidung von

Dr.-Ing. *Heinz Pärsch* ist Gruppenleiter in der Entwicklungsabteilung Turbogeneratoren des VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinats Kraftwerksanlagenbau; Dipl.-Ing. *Falk Müller* war zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchungen Ingenieur-Praktikant im selben Betrieb.

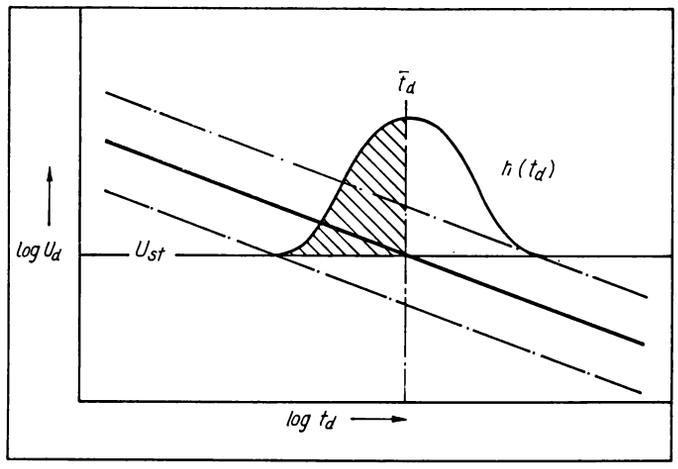


Bild 1
Elektrische Lebensdauerkennlinie einer Feststoffisolierung und Verteilung der Durchschlagzeit um ihren Erwartungswert

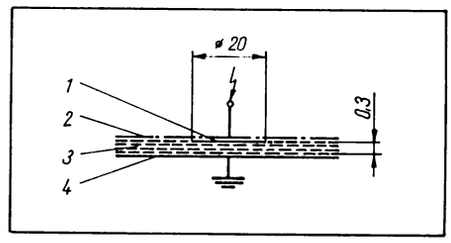


Bild 2
Modellanordnung für die Untersuchung der elektrischen Alterung
1 Spannungführende Elektrode (CU-Scheibe); 2 Glimmschutzanstrich; 3 geprüfte Isolierung (3 Schichten Novomikaband 270); 4 Gegenelektrode (Aluminiumfolie)

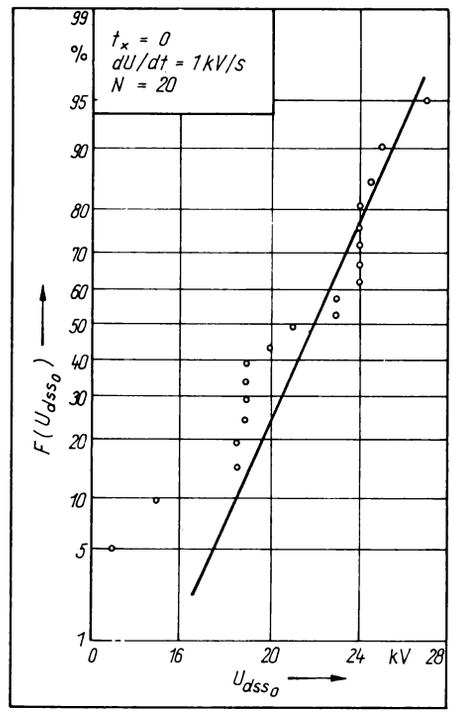


Bild 3
Verteilungsfunktion der Durchschlagspannung von unbeanspruchten Prüflingen

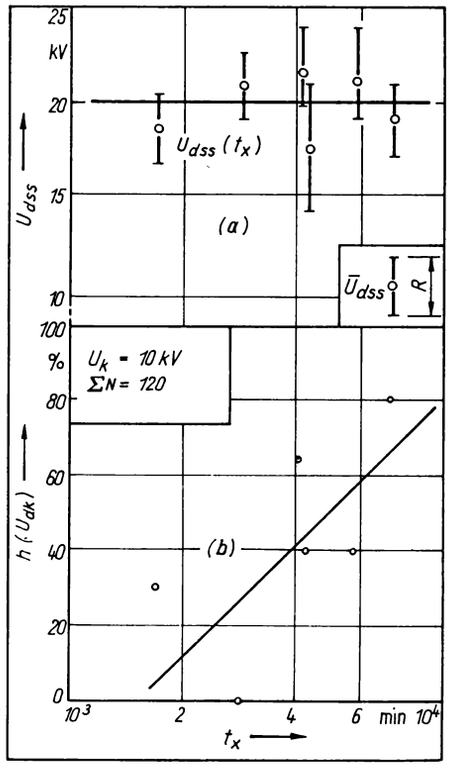


Bild 4
Durchschlagspannung in Abhängigkeit von der Dauer der elektrischen Alterung
(a) Durchschlagspannung der elektrisch gealterten Prüflinge; (b) Häufigkeit der Durchschläge bei einer Stehspannung von 10 kV in Abhängigkeit von der Dauer der elektrischen Alterung

Oberflächenentladungen wurde ein Glimmschutzlack aufgebracht, der einen vom Spannungsgradienten abhängigen Widerstand hat.
Bei Raumtemperatur ohne Konditionierung der Prüflinge erfolgten die Messungen an zehn Stellen gleichzeitig. Zur Prüfung wurde eine 50-Hz-Wechselspannung verwendet. Alle nachfolgend angegebenen Spannungshöhen sind Effektivwerte. Durchgeschlagene Prüflinge wurden selektiv ohne Versuchsunterbrechung abgeschaltet.

3. Versuchsdurchführung und -ergebnisse

3.1. Durchschlagspannung im unbeanspruchten Zustand

Im unbeanspruchten Zustand wurde an 20 Meßstellen die Durchschlagspannung mit einer Spannungssteigerungsgeschwindigkeit von 1 kV/s gemessen. Die Ergebnisse sind als Summenhäufigkeitsverteilung im Bild 3 dargestellt (alle Meßpunkte eingetragen).
Es ist unverkennbar, daß die Meßpunkte ziemlich stark streuen. Unter Einbeziehung aller Meßwerte beträgt der Variationskoeffizient $V = 16{,}7\,\%$. Werden die beiden Meßwerte im unteren linken Quadranten des Diagramms vernachlässigt, so ist $V = 12{,}3\,\%$. Dieses Ergebnis ist einerseits angesichts der „idealen" Versuchsanordnung überraschend, andererseits durch die geringe Anzahl der Isolierschichten zu erklären, da bereits Fehlerstellen in einer Schicht einen großen Einfluß haben.
Bei der eingetragenen Verteilungsfunktion wurden die beiden Fehlerstellen nicht berücksichtigt. Die verbleibenden Meßwerte können mit ausreichender Näherung durch eine Normalverteilung beschrieben werden.

3.2. Durchschlagspannung in Abhängigkeit von der Dauer der elektrischen Alterung

Die Messungen erfolgten mit einer Stehspannung von 10 kV. Zu verschiedenen Stehspannungszeiten t_x wurde die Durchschlagspannung der nicht ausgefallenen Prüflinge im Spannungssteigerungsversuch mit 1 kV/s gemessen.
Die Ergebnisse sind im Bild 4 dargestellt. Die Darstellung (a) weist darauf hin, daß praktisch keine Veränderung der Durchschlagspannung gegenüber dem Ausgangszustand eingetreten ist, (b) läßt jedoch deutlich eine elektrische Alterung erkennen. Der Anstieg der eingetragenen Kennlinie ist statistisch gesichert.

3.3. Durchschlagspannung am Ende der elektrischen Lebensdauer

In jeder Versuchsreihe — drei waren es insgesamt — wurden 60 Meßstellen getestet (Stehspannungen 7,5; 10 und 12,5 kV). Zu dem Zeitpunkt, als festgestellt wurde, daß etwa 50 % der Proben durchgeschlagen waren, erfolgte unmittelbar im Anschluß an die Stehspannungsbeanspruchung die Messung der Durchschlagspannung der verbliebenen Prüflinge mit einer Spannungssteigerungsgeschwindigkeit von 1 kV/s.
Bild 5 enthält die Summenhäufigkeitsverteilungen der Durchschlagzeiten der bei Stehspannungseinwirkung durchgeschlagenen Prüflinge. Die Häufigkeit der Meßpunkte ist auf die Gesamtzahl der am Test beteiligten Proben bezogen, so daß die Darstellung in Form von abgebrochenen Verteilungen erfolgt. Es ist eine gute Näherung durch Lognormalverteilungen festzustellen. Unter Verwendung der 50-%-Quantile der Durchschlagzeiten ergibt sich die im Bild 6 dargestellte Lebensdauerkennlinie $\bar{U}_{dk}(t_d)$ mit einem Zahlenwert für den Lebensdauerexponenten $n = 10{,}2$. Die auf den Spannungsebenen eingetragenen Streubereiche sind durch $\bar{t}_d - s(t_d)$ gekennzeichnet.

Die im Spannungssteigerungsversuch an den elektrisch gealterten Prüflingen gemessenen Durchschlagspannungen sind über den Erwartungswerten der Durchschlagzeiten eingetragen. Hier wurde die Darstellung des Mittelwerts und der Spannweite gewählt, um insbesondere die niedrigste Durchschlagspannung anzugeben.
Der Verlauf der Durchschlagspannung in Abhängigkeit von der Dauer der elektrischen Alterung ist durch die Kennlinie $\bar{U}_{dss}(t_x)$

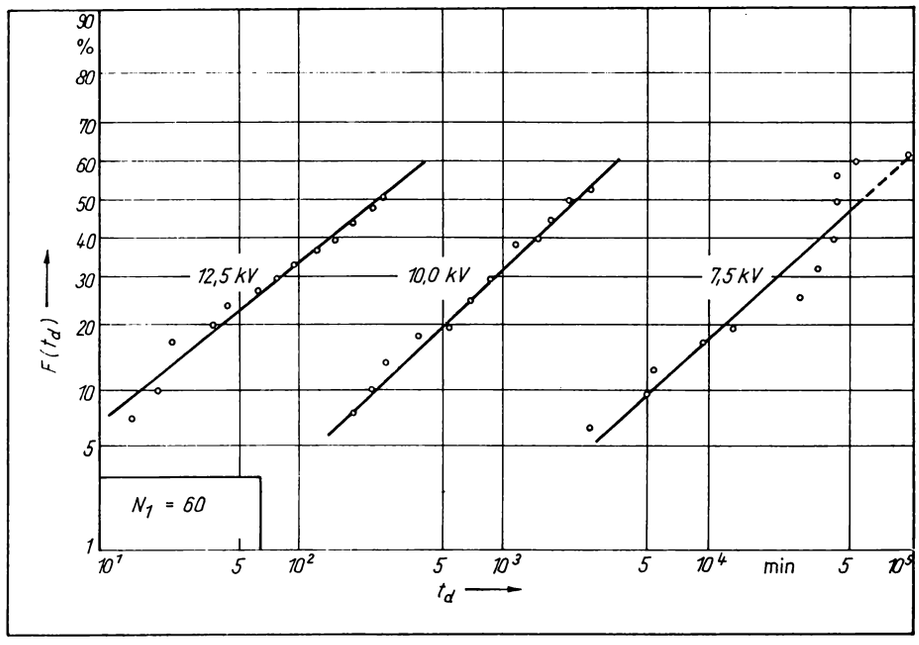


Bild 5. Verteilungsfunktionen der Durchschlagzeit bei den Stehspannungsversuchen, bezogen auf die Gesamtzahl der dem Test unterzogenen Meßstellen

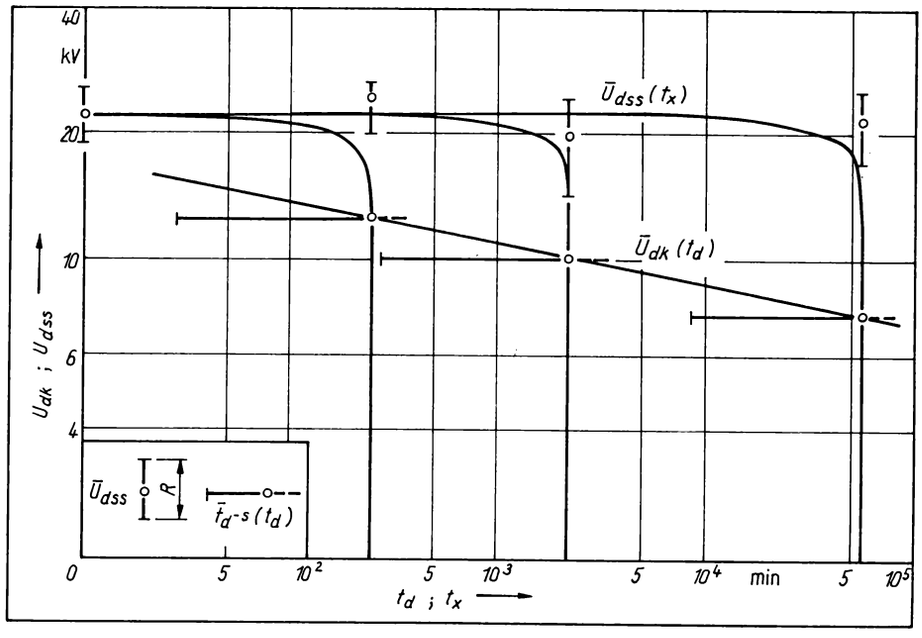


Bild 6. Verlauf der Durchschlagspannung in Abhängigkeit von der Dauer der elektrischen Alterung und gemessene Lebensdauerkennlinie

beschrieben, die mit Hilfe der im folgenden Abschnitt angegebenen Gl. (2) bei Einsetzen der 50-%-Quantile der Durchschlagzeiten berechnet wurden. Es wird deutlich, daß eine merkliche Senkung der Durchschlagspannung erst unmittelbar am Ende der elektrischen Lebensdauer zu verzeichnen ist.

4. Verlauf der Durchschlagspannung

In [3] ist für den Verlauf der Durchschlagspannung bei elektrischer Alterung eine Gleichung angegeben, die mit den in diesem Bericht verwendeten Formelzeichen wie folgt geschrieben werden kann:

$$U_{\mathrm{dss}} = \left(1 - \frac{t_{\mathrm{x}}}{t_{\mathrm{d}}}\right)^{\frac{1}{n+1}} U_{\mathrm{dss_0}}. \qquad (2)$$

Zum gleichen Ergebnis kam *Müller* über Betrachtungen des relativen Lebensdauerverbrauchs bei Konstantspannungs- und Spannungssteigerungsversuchen [4].
Die ermittelten Meßwerte bestätigen sehr gut die Gültigkeit dieser Gleichung.

5. Schlußfolgerungen

Die Meßergebnisse erklären die eingangs angeführten Beobachtungen bei Spannungsprüfungen und dem Betrieb rotierender Hochspannungsmaschinen. Das bedeutet, daß eine Stehspannungsprüfung kein absolut zuverlässiges Mittel zur Sicherung eines störungsfreien Betriebes ist.
Da im praktischen Betrieb neben der elektrischen Alterung weitere Alterungsfaktoren einwirken und in Ermangelung besserer Diagnoseverfahren kann jedoch bei dem gegenwärtigen Erkenntnisstand auf Stehspannungsprüfungen nicht verzichtet werden. Das unterstreicht die Dringlichkeit der Erforschung geeigneter Diagnosemethoden für die Wicklung rotierender Hochspannungsmaschinen.

Literatur

[1] *Bondarenko, A. S.:* O momente zameny statornych obmotok gidrogeneratorov (Über den Moment der Auswechslung der Ständerwicklungen von Hydrogeneratoren). Elektriceskije stancii (1971) 6, S. 77–80
[2] *Eberhardt, M.:* Ein Beitrag zur Verbesserung der Qualität der Isolierungen rotierender elektrischer Maschinen. Dissertation B. Technische Universität Dresden 1980
[3] *Kako, Y.; Tsukui, T.; Mitsui, H.; Hirabayashi, S.; Kimura, K.; Natsume, E.:* Voltage endurance and degradation processes of insulation systems for high voltage rotating machine (Dauerspannungs- und Alterungsprozesse von Isolierungssystemen für rotierende Hochspannungsmaschinen).
CIGRE – Internationale Konferenz über große elektrische Hochspannungssysteme 1978, Heft-Nr. 15–04, S. 1–13
[4] *Müller, F.:* Untersuchungen zur Restdurchschlagspannung nach elektrischer Vorbeanspruchung an einer einfachen Isolieranordnung. Abschlußbericht Ingenieur-Praktikum 1986

EA 5983

Ermittlung der Beanspruchungen in rotierenden Teilen eines Turbogenerators und notwendige Voraussetzungen für die Einschätzung der Lebensdauer unter Betriebsbedingungen

W. Krause, Berlin

Die Kraftwerke auf fossiler Brennstoffbasis mit einer Blockgröße von 100 bis 500 MW haben einen Anteil von etwa 50% an der Elektroenergieerzeugung in der DDR. Aus der gegenwärtigen Entwicklung läßt sich ableiten, daß eine Nutzung dieser Kraftwerke auch nach dem Jahr 2000 notwendig sein wird. Ein Weiterbetrieb der Anlagen über die ursprünglich projektierte Lebensdauer ist ohne umfangreiche Rekonstruktionsmaßnahmen allerdings nicht möglich. Aufgrund der dabei anstehenden Forderung nach Minimierung des ökonomischen Aufwandes ist sachkundig zu prüfen, welche Baugruppen gegebenenfalls nach entsprechenden Änderungen und Prüfungen wiederverwendet werden können und welche zwingend durch neue ersetzt werden müssen. Für die Entscheidungsfindung sind zielstrebige Untersuchungen der unterschiedlichsten Fachdisziplinen erforderlich. Aus der Sicht der mechanischen Festigkeit bedeutet das, die zugrunde gelegten Auslegungskriterien, die Berechnungsverfahren und -methoden und die Belastungsannahmen für den Betrieb der Anlagen zu analysieren. Daraus ergibt sich für den Turbogeneratorenbau ein ganzer Komplex von zu lösenden Aufgaben. Bezüglich des Induktors als ein wesentliches und zugleich hoch beanspruchtes Bauelement des Turbogenerators wird in dieser Ausarbeitung ein Überblick über den Erkenntnisstand gegeben und zwar unter Verzicht auf eine spezielle Darstellung der theoretischen Sachverhalte. Sie sind den angegebenen Literaturstellen zu entnehmen.

1. Schäden an Induktorwellen

In [1] und [2] erfolgte eine umfangreiche Darstellung von Schäden an Dampfturbinenwellen und Generatorläufern. Analysiert man diese repräsentative Zusammenstellung von Schadensfällen der letzten 60 Jahre, ergeben sich als wesentliche Schadensursachen:

- Werkstoffehler (Materialinhomogenitäten als Rißstarter)
- Konstruktive Mängel (ungünstige Wellenkontur, Schrumpfsitzausführung u.ä.)
- Fertigungsmängel (Oberflächengüte, Drehriefen)
- Überdrehzahl durch Funktionsmängel
- erhöhte Schwingungsbeanspruchung
- Spannungs-Schwingungskorrosion
- Bedienungsfehler, Wartung der Anlage.

In den Anfängen des Turbogeneratorenbaus war eine ganze Reihe von Wellenschäden hauptsächlich auf mangelnde Werkstoffqualität, bedingt durch ungenügende Beherrschung des metallurgischen Prozesses, zurückzuführen. Inhomogenitäten in den Schmiedestücken, Flockenbildung und unzureichende bzw. falsche Wärmebehandlung führten schon nach relativ wenigen Betriebsstunden, in den Anfängen bereits bei der Schleuderprüfung zu Sprödbrüchen. Dieses zum Teil zu spektakulären Schäden führende Werkstoffversagen konnte in der Folgezeit durch die Fortschritte in der Metallurgie und der Werkstoffprüfung weitgehend als primäre Schadensursache ausgeschlossen werden.
Mit der Notwendigkeit, die Entwicklung größerer Einheitsleistungen voranzutreiben, stiegen die Anforderungen an die Güte der mechanischen Auslegung der Maschinen. Sie fanden in veränderter konstruktiver Gestaltung (z.B. Kappenschrumpfsitz bei freiliegender Ausführung der Induktorkappe) ihren Niederschlag. Gleichzeitig entstand die Forderung nach höherer Festigkeit für die Wellenwerkstoffe und die Induktorkappenstähle. Die heute üblichen Kappenstähle haben Streckgrenzen von 800 bis 1000 MPa. Die höchste zu realisierende Streckgrenze einer Induktorkappe (1200-MVA-Maschine, 2-polig) betrug 1320 MPa.
In Tafel 1 sind Festigkeitswerte für in der DDR eingesetzte Induktorwellenwerkstoffe zusammengestellt. Etwa 30% der Schäden an Induktoren gehen auf das Konto der Induktorkappen. Schäden durch Überdrehzahl infolge Funktionsmängel und Bedienfehler sind sporadisch auf ein breites Leistungsgrößenspektrum verteilt.

Tafel 1. Festigkeitskennwerte für Induktorwellen (geforderte Mindestwerte)

Leistung	Werkstoff	tangential		radial	
		$Rp_{0,2}$	Rm	$Rp_{0,2}$	Rm
MW		MPa		MPa	
100	K32CrMo12.4	540	690	490	690
200	35XH3MFAp	620	770	600	740
500	35XH3MFAp	650	790	650	750

2. Analyse der Beanspruchung von Induktorwellen

Der Induktor (Bild 1) ist das am höchsten mechanisch beanspruchte Teil des Generators. Ausgehend von der zu erfüllenden Funktion in einem Generator, sind die unterschiedlichen Forderungen aus der elektromagnetischen und wärmetechnischen Auslegung für die konstruktive Gestaltung bestimmend und sind beim Nachweis der Festigkeit und dynamischen Stabilität zu berücksichtigen. Der Rotor eines Turbogenerators besteht vereinfacht aus einem beidseitig gelagerten und zur Aufnahme der Kupferwicklung längsgeschlitzten Voll- oder Hohlzylinder. Die mechanischen Spannungen des Rotors werden im Betriebszustand durch folgende Belastungen bestimmt [4]:

a) Eigenfliehkraft
b) Zahnrandlast durch Eigenfliehkraft der Wicklungsmasse
c) Schrumpfkräfte im Bereich der Kappe
d) Axiale Biegewechselspannung beim Umlaufen in der elastischen Linie
e) Temperaturfelder
f) Torsionsbeanspruchung bei Nennbetrieb und bei elektrischen Störungen
g) Wuchtzustand.

Die Belastungen a) und b) sind entscheidend für den Induktorzahnbereich (Nutverschlußkeil, Zahnkopf, Nutgrund) (Bilder 1 und 2). Die radial nach innen gerichteten Schrumpfkräfte treten nur im Bereich des Kappenschrumpfes auf und führen dort während des Betriebes zu einer Entlastung. Für die Biegewechselbeanspruchung sind die Wellenabschnitte im Ballenauslauf bis hin zu den Lagersitzen aufgrund der wesentlichen kleineren Trägheitsmomente im Vergleich zum Induktorballen entscheident für die Dauerfestigkeitsauslegung und damit für das Ermüdungsverhalten des Induktors. Für die Biegespannungen (ohne Berücksichtigung der Kerbwirkung) eines 100-MW-Induktors ergeben sich in diesem Bereich Werte von 10 bis 15 MPa und für einen 500-MW-Induktor etwa 20 bis 25 MPa.
Der Temperatureinfluß ist im Gegensatz zum Turbinenläufer ohne Bedeutung. Berücksichtigt wird er nur für die Schrumpfsitzberechnung der Induktorkappe.
Torsionsbeanspruchungen der Induktorwelle resultieren aus dem zu übertragenden Turbinenmoment, wobei im Bereich der Generatorkupplung und des Lagerzapfens die größten Belastungen auftreten. Die Torsionsspannungen am Lagerzapfen liegen für 100 MW bei etwa 25 MPa und für 500 MW bei etwa 70 MPa. Aus der Sicht einer maximalen Torsionsfestigkeit der Welle wäre der größte ausführbare Lagerdurchmesser anzustreben. Da aber Ölmenge und Verluste im Lager mit steigendem Durchmesser größer werden, ist aus dieser Sicht ein möglichst kleiner Durchmesser zu wählen. Dementsprechend ist für die konstruktive Gestaltung der Durchmesser zu optimieren. Wesentlich höhere Torsionsbeanspruchungen stellen sich als Folge elektrischer Störungen ein. Diese Störmomente können den gesamten Wellenstrang zu Torsionsbeanspruchungen anregen. Die mechanischen Momente erreichen dabei Werte in Höhe des 3- bis 4fachen Nennmoments je nach elektrischem Störfall. Als Folge solcher Störungen sind Überbeanspruchungen der Kupplung und der Lagerzapfen möglich, die zur Verminderung der Lebensdauer führen.

Dr.-Ing. *Werner Krause* ist Mitarbeiter in der Forschung und Entwicklung im VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinats Kraftwerksanlagenbau Berlin.

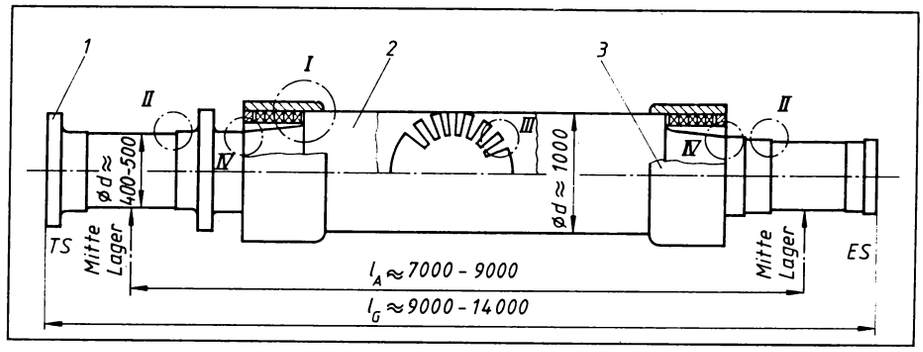


Bild 1. Prinzipielle Darstellung einer Induktorwelle großer Leistung
I Ballenauslauf/Rotorschrumpfsitz; II Wellenabsätze im Bereich der Lagersitze; III Induktorzahnbereich; IV Schleifringzuleitung/Lüfterkühlnuten
1 Generatorkupplung; 2 Induktorballen mit Wicklungsnuten; 3 Induktorkappe

Tafel 2. Spannungskonzentrationsfaktoren für 20-MVA-Induktoren (VEB Bergmann-Borsig) [4]

Radius r mm	FEM	*Neuber/Petersen*	*Hetenyi*
Nutgrund			
2,0	2,22	2,10	1,99
3,0	1,84	1,81	1,80
4,5	1,44	1,57	1,62
Kühlschlitz			
3,0	1,74	1,72	1,75

Ausschlaggebend für die Laufruhe des Induktors sind ein guter Auswuchtzustand und biegekritische Drehzahlen, die weit genug vom Betriebsdrehzahlbereich oder von etwaigen Haltedrehzahlbereichen entfernt liegen (Bild 3).
Betrachtet man die in [3] gemachten Angaben zu den Leistungsgrenzen beim Bau von Turbogeneratoren, so zeigt sich ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der aktiven Rotorlänge, der zulässigen Lagerbelastung (Eigengewicht), der Lagerstabilität und der daraus sich ergebenden Lage der kritischen Drehzahlen.

3. Auslegung und Berechnung

3.1. Induktorzahnbereich

Die konstruktive Gestaltung des Induktorzahnbereiches, der die Läuferwicklung aufzunehmen hat, ist von entscheidender Bedeutung für die zu realisierenden technischen Parameter eines Generators. Große Fliehkräfte, verbunden mit hohen Kerbspannungen lassen den Induktorzahn zu einem grenzbeanspruchten Bauteil werden, von dessen sicherer Auslegung die Lebensdauer des Induktors wesentlich abhängt.
Im Bild 2 ist ein axialer Symmetrieschnitt für den Wicklungsbereich des Induktors dargestellt. Abschnitt A, der Rotorkörper, kann durch einen Zylinder beschrieben und in geschlossener Form dimensioniert werden. Der Berechnungsalgorithmus ist dann lediglich durch Randlasten zu erweitern. Die Spannung im Abschnitt C läßt sich genügend genau eindimensional ermitteln. An stärkeren Querschnittsänderungen, wie der Nutgrundbereich B und der Zahnkopfbereich D, ist die Kenntnis der Spannungskonzentration entscheidend für die Bestimmung der maximalen Spannungen. Im Bild 4 sind in Auswertung unterschiedlicher Berechnungsmethoden die Spannungskonzentrationsfaktoren eines 20-MVA-Induktors für praktisch interessierende Geometrieverhältnisse dargestellt. Wie eine Zusammenstellung in Tafel 2 zeigt, läßt sich eine gute Übereinstimmung der numerisch ermittelten Werte feststellen. Damit ist die zuverlässige Vorausberechnung und sichere Auslegung möglich. Alle Ergebnisse sind in das für die speziellen Belange des Turbogeneratorenbaues beim VEB Bergmann-Borsig entwickelte PC-Programm INDZAHN eingeflossen.

3.2. Induktorwelle

Ausgehend von den Hauptbeanspruchungen (Biege-Torsionsspannungen) der Induktorwelle besteht im allgemeinen die Aufgabe, die Vergleichsspannungen nach der GE-Hypothese für die am meisten beanspruchten Wellenabschnitte zu bestimmen. Gegebenfalls sind den Beanspruchungen unter normalen Betriebsbedingungen Zusatzbelastungen durch instationäre Betriebszustände zu überlagern, wobei die Betrachtung eines möglichen Stoßkurzschlusses Bestandteil der Auslegungsrechnung ist.

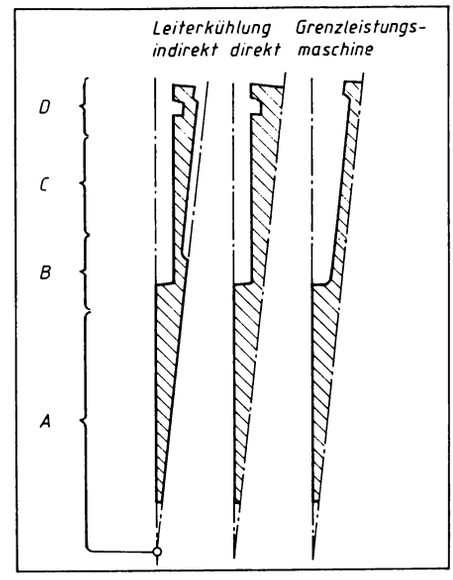


Bild 2
Axialer Symmetrieschnitt für den Wicklungsbereich eines Induktors
A Rotorkörper; B Nutgrund; C Zahn; D Zahnkopf

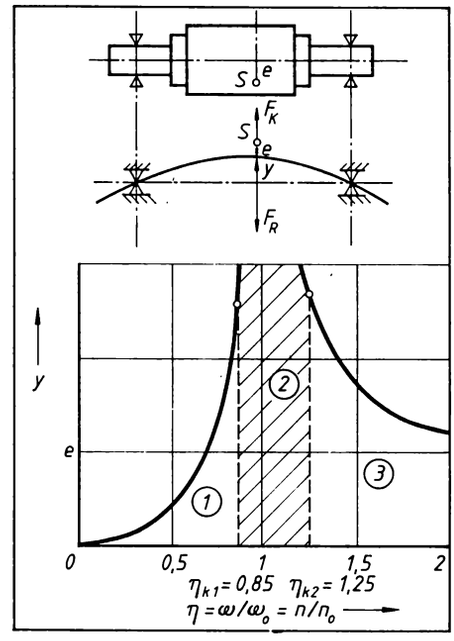


Bild 3
Elastische Wellenauslenkung und Schwerpunktkonstellation in Abhängigkeit vom Frequenzverhältnis η [6]
1 unterkritischer Bereich; 2 kritischer Bereich; 3 überkritischer Bereich
e Exzentrizität; s versetzter Masseschwerpunkt; y elastische Wellenauslenkung;
F_K Fliehkraft; F_R elastische Rückstellkraft

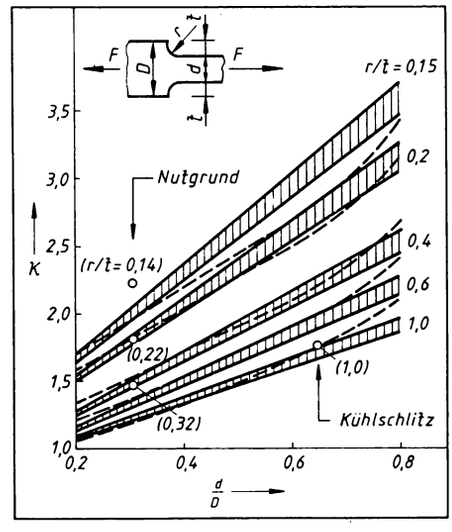


Bild 4
Spannungskonzentrationsfaktoren für einen 20-MVA-Induktor
Neuber/Petersen;
---- Hetenyi; · FEM

Wellen werden im Betrieb auch dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt. So ist neben dem statischen Sicherheitsnachweis auch ein Dauerfestigkeitsnachweis zu führen. Für die Beurteilung der Dauerfestigkeit der Induktorwelle sind die örtlichen Spannungskonzentrationen, beispielsweise an den Wellenabsätzen (Bild 1) zu ermitteln. Eine prinzipielle Darstellung des Zusammenhangs zwi-

Bild 5. Schwingfestigkeitsverhalten von glatten und gekerbten Bauteilen mit den dazu gehörigen Kerbwirkungszahlen [6]

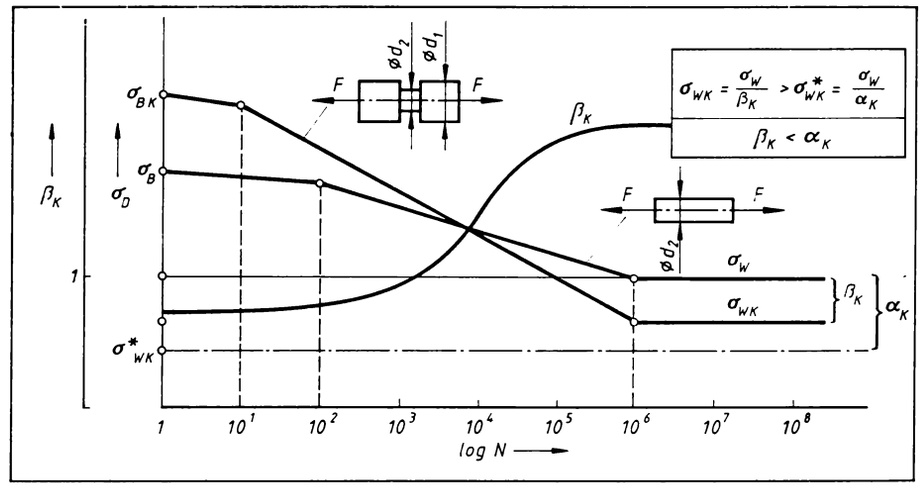
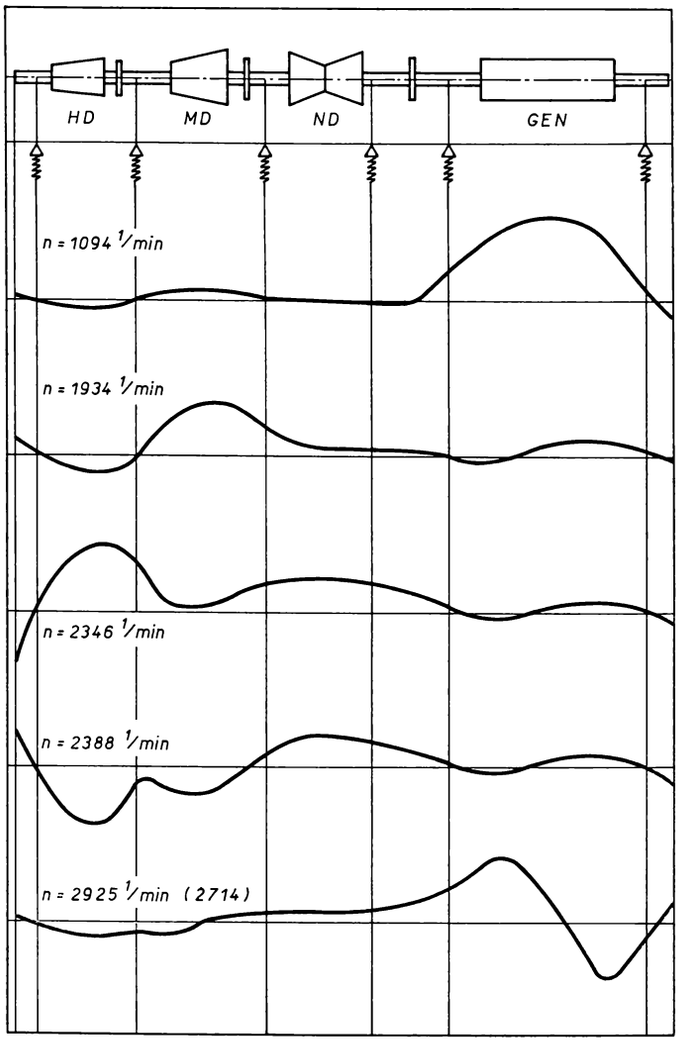


Bild 6. Kritische Drehzahlen und dazugehörige Schwingformen eines 100-MW-Turbosatzes



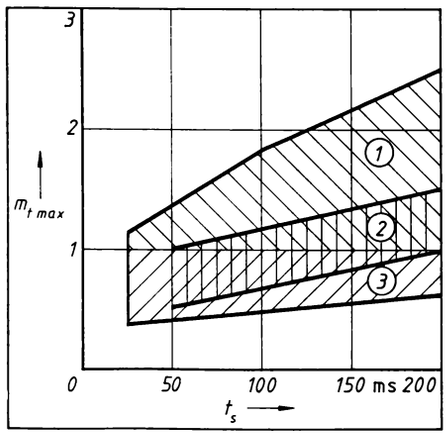


Bild 7
Bereiche maximaler Torsionsmomente bei Abschaltung eines dreipoligen kraftwerksnahen Netzkurzschlusses mit wiederkehrender Spannung, bezogen auf das Auslegungsmoment bei zweipoligem Klemmenkurzschluß [5]
1 S > 500 MVA;
2 S = 300 MVA;
3 S < 300 MVA

schen Formzahl α_K, Kerbwirkungszahl β_K und ihren Einfluß auf die Schwingfestigkeit von Wellen zeigt Bild 5. Für 100-MW-Induktoren aus der Produktion des VEB Bergmann-Borsig liegen die α-Werte bei 2,2 bis 2,8 (Biegung) und 1,2 bis 1,85 (Torsion). Die β_K-Werte liegen bei 1,1 bis 1,85. Untersuchungen an einem 500-MW-Induktor ergaben α_K-Werte von 1,8 bis 2,2 und β_K-Werte von 1,75 bis 2,1, Torsionsbeanspruchung vorausgesetzt. Die zunehmenden dynamischen Beanspruchungen der Welle bei größer werdenden Einheitsleistungen erfordern damit eine sorgfältige konstruktive Gestaltung unter dem Gesichtspunkt, die örtliche Kerbwirkung so gering wie möglich zu halten.

Neben der Bemessung wird die mechanische Belastbarkeit der Wellen durch die Werkstoffeigenschaften festgelegt. Wellen für Turbogeneratoren sind wegen der hohen Fliehkräfte ohnehin aus Werkstoffen mit optimalen Gebrauchswerteigenschaften hergestellt. Das bedeutet, es kommen Stähle mit hoher Streckgrenze, hoher Zähigkeit und hoher Wechselfestigkeit zum Einsatz. Dabei ist zu beachten, daß eine Erhöhung der statischen Festigkeitseigenschaften nur eine geringe oder gar keine Verbesserung der dynamischen Belastbarkeit des Wellenwerkstoffes mit sich bringt.

Die Lage der kritischen Drehzahl ist von entscheidender Bedeutung für die erreichbare Laufruhe des Turbosatzes. Haupteinflußgrößen auf die Biegeschwingungen der Welle sind deren Biegesteifigkeit, die Massenverteilung und die Lagerelastizitäten. Im allgemeinen Maschinenbau wird ein Abstand zwischen kritischer Drehzahl und Nenndrehzahl von etwa 20 % angestrebt (Bild 3). Für den Wellenstrang eines Turbosatzes, mehrfach statisch unbestimmt gelagert, mit orthotroper Steifigkeit im Induktorballenbereich, läßt sich eine derartige Forderung nicht mehr realisieren, da die Abstände zwischen den einzelnen biegekritischen Drehzahlen teilweise sehr dicht beieinander liegen können.

Zur praktischen Berechnung der biegekritischen Drehzahlen kompliziert aufgebauter Rotoren stehen leistungsfähige Rechenprogramme zur Verfügung. Die beim VEB Bergmann-Borsig entwickelten Programme KRIDR1 und ANISO [7] sind universell anwendbare Programme, die die wichtigsten Fragestellungen des Entwicklers und Betreibers von Turbomaschinen beantworten:

— kritische Drehzahlen des Wellenstranges
— erzwungene Schwingungen im Betriebszustand
— Stabilität des Rotors gegenüber selbsterregten Schwingungen.

Bild 6 zeigt das Ergebnis einer Rechnung mit dem Programm KRIDR1. Aufgrund der Lage der kritischen Drehzahlen ist somit ein guter Auswuchtzustand entscheidend für die Laufruhe des Wellenstranges. Die torsionskritischen Drehzahlen werden nur bei rhythmisch veränderlichen Drehmomenten angeregt. Die üblichen, bei Leistungsänderungen auftretenden Drehmomentenänderungen sind dabei bedeutungslos.

Als Folge der bereits erwähnten Störfälle mit transienten Belastungen (elektrische Wechselwirkungen zwischen Turbosatz und Netz) können im Generator starke Störmomente unterschiedlicher Zeitverläufe entstehen, die den gesamten Läuferstrang zu Torsionsschwingungen anregen. Die Ursachen dieser Schwingungen sind ausschließlich elektrischer Natur. In der Reihe von Betriebszuständen, die zu Torsionsschwingungen führen können, stellen nach neueren Untersuchungen für Turbosätze großer Leistung Netzkurzschlüsse die größten Störungen dar. Eine Auswertung dieser Tatsache wird für unterschiedliche Leistungsgrößen im Bild 7 vorgenommen. Es zeigt sich hierbei, daß ab einer Leistungsgröße von etwa 300 MVA

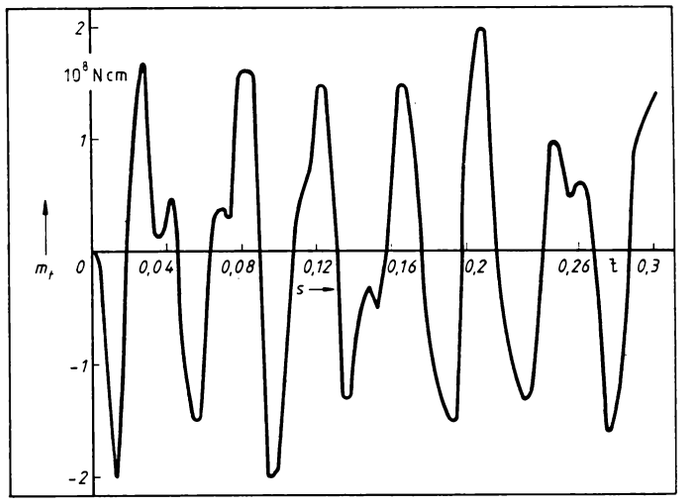


Bild 8. Berechnetes Generatorkopplungsmoment eines 210-MW-Turbosatzes für einen angenommenen 3-poligen Klemmenkurzschluß

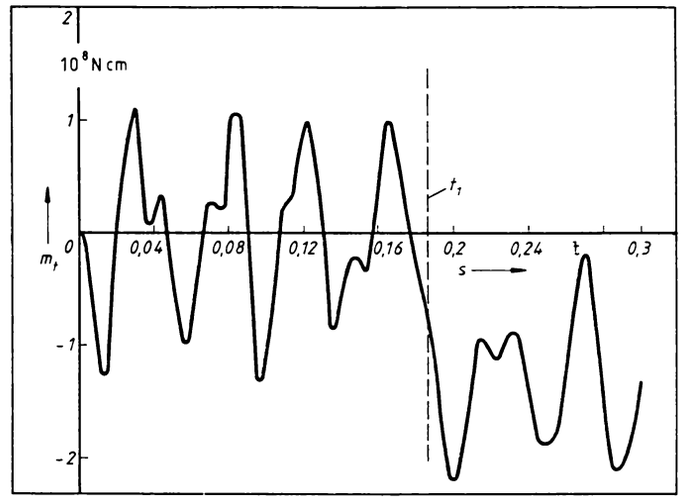


Bild 9. Berechnetes Generatorkupplungsmoment eines 210-MW-Turbosatzes für einen 3-poligen, kraftwerksnahen Netzkurzschluß mit Einbeziehung des Abschaltstoßes nach t = 187 ms

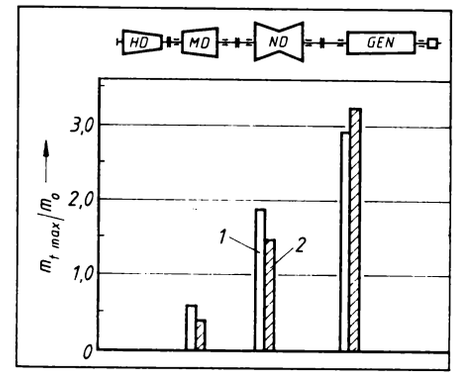
mit spürbar größeren Torsionsmomenten zu rechnen ist, als sie in der bisherigen Auslegung Berücksichtigung fanden. Deshalb wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Untersuchungen zu dieser Problematik durchgeführt. Eigene Untersuchungsergebnisse, die mit dem ebenfalls beim VEB Bergmann-Borsig entwickelten Rechenprogramm TORKU erzielt worden sind, zeigen die Bilder 8, 9 und 10. Eine Auswertung der untersuchten Störungen hinsichtlich der Verringerung der Lebensdauer am Beispiel des 210-MW-Torbosatzes ergab, daß mit einer Abnahme der Lebensdauer von 1,5 bis 3% bei einem Netzkurzschluß zu rechnen ist.

4. Zusammenfassung

Der dargestellte Sachverhalt zeigt die Komplexität der Probleme, die für die Auslegung und den damit verbundenen sicheren Betrieb von Turbogeneratoren zu berücksichtigen sind. Die entwickelten leistungsfähigen Rechenprogramme sind dabei ein wesentliches Hilfsmittel für den Ingenieur, um die Zuverlässigkeit der Anlagen zu erhöhen. Es kann eingeschätzt werden, daß gegenwärtig bei der mechanischen Auslegung alle wesentlichen Betriebsbeanspruchungen berücksichtigt werden können. Aussagefähige Lebensdauerbewertungen bei instationären Betriebsfällen, deren exakte Reproduzierbarkeit selten möglich ist, sind jedoch nach wie vor mit großen Unsicherheiten behaftet. Hohe Spannungskonzentrationen durch ungünstige Gestaltung der Wellenkontur, Fertigungsmängel in Form von Drehriefen u.ä. sowie erhöhte Schwingungsbeanspruchungen durch einen schlechten Auswuchtzustand können die Ursache für immer wieder auftretende Ermüdungsrisse sein. Aufgrund der unter Betriebsbedingungen auftretenden sehr hohen Lastwechselzahlen ergibt sich bei einer bruchmechanischen Betrachtung zum Rißfortschritt für nachgewiesene Anrisse keine technisch nutzbare Lebensdauer. Es ist deshalb erforderlich, den Rißnachweis selbst als Lebensdauerende anzusehen.

Für die sichere Auslegung von Induktorwellen ist es deshalb erforderlich, die gut kontrollierbaren Wellenabschnitte (Lager-, Dichtungsbereiche eindeutig in ihrer Belastbarkeit kleiner zu halten als die nicht gut zugänglichen Wicklungs-Gebläsebereiche. Nur so

Bild 10
Berechnete Kurzschlußfaktoren in den Kupplungsabschnitten eines 210-MW-Turbosatzes
1 3-poliger Klemmenkurzschluß; 2 3-poliger Netzkurzschluß mit Abschaltung



ist es möglich, die bei Revisionen vorgesehenen Rißprüfungen mit großer Treffsicherheit durchzuführen und aus den Ergebnissen die entsprechenden allgemeingültigen Schlußfolgerungen für den Zustand der Gesamtanlage abzuleiten.

Literatur

[1] *Häxtermann, E.:* Erfahrungen mit Schäden in Form von Anrissen und Brüchen an Dampfturbinenwellen, Radscheiben und Generatorläufern. VGB-Technisch-wissenschaftliche Berichte (TW 107)

[2] *Kudrajawcew, I. W.; Schokow, N. A.:* Schadensanalyse der Wellen von großen Turbogeneratoren. Energomaschinostrojenie (1980) 11, S. 17–19

[3] *Merz, K.:* Mechanische und elektromagnetische Grenzen beim Bau von Turbogeneratoren. Energie und Technik 26 (1974) 11, S. 249–256

[4] *Krüger, W.-D.; Tappe, W.; Buder, T.:* Rotorfestigkeit von Turbogeneratoren. Maschinenbautechnik, Berlin 37 (1988) 4, S. 171–173

[5] *Bölder, P.; Kulig, T.; Lambrecht, D.:* Beurteilung der Torsionsbeanspruchung in den Wellen von Turbosätzen bei wiederholt auftretenden Störungen im Laufe der Betriebszeit. ETZ-A 96 (1975) 4, S. 172–177

[6] *Wächter, K.:* Konstruktionslehre für Maschineningenieure. Berlin: VEB Verlag Technik 1987

[7] *Schubert, K.-H.:* Berechnung der Biegeschwingungen von Turbomaschinenrotoren mit dem Programm ANSO. Maschinenbautechnik, Berlin 36 (1987) 7, S. 305–309

EA 5984

Auslieferung in diesen Tagen in 2., durchgesehener Auflage!

Grundlagen der Automatisierungstechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Heinz Töpfer und Doz. Dr.-Ing. Peter Besch. 330 Seiten, 273 Bilder, Leinen, DDR 24,— M, Ausland 36,— MD. Im Fachbuchhandel erhältlich. Bestellangaben: 5540131/Töpfer, Grundlagen.

Von besonderem Interesse für viele Leser werden die Ausführungen über Aufbau und Programmierung von Mikroprozessoren und Mikrorechnern sein. Aufgrund der praxisbezogenen Beispiele ist das Hochschullehrbuch auch für die Weiterbildung von Ingenieuren geeignet.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Neue Turbogeneratoren für das Kernkraftwerk Nord

J. Hlaváč, Plzeň, ČSSR

Beginnend mit dem vierten Kernkraftwerkblock, d.h. mit dem siebenten Turbosatz, wird das Kernkraftwerk Nord mit Turbogeneratoren teschechoslowakischer Produktion (Typbezeichnung 2 HY 6688/2 VH) ausgerüstet.
Der neue Maschinentyp entstand aus der fortschreitenden Innovation des ursprünglichen Prototyps HG 6688/2, der vor mehr als 20 Jahren produziert wurde [1] [2]. An mehr als 50 gefertigten Maschinen dieser Ausführung wurden schrittweise Erkenntnisse aus Prüfungen und dem Kraftwerksbetrieb in die Konstruktion überführt. Verschiedene Maßnahmen, die eine Erhöhung der Typenleistung ermöglichten, betrafen u.a. die Vervollkommnung der Kühlung und die Verringerung der Verluste [6]. Eine der Maßnahmen zur Verringerung der Verluste war die Anwendung kornorientierter Bleche mit niedriger Verlustziffer und einer Dicke von 0,35 mm für den magnetischen Kreis des Stators. Parallel zum Generator wurde auch dessen Zubehör modernisiert. Die markanteste Entwicklung zeigt das Erregungssystem, bei dem die ursprünglich verwendeten Quecksilberdampf-Gleichrichter durch Silizium-Dioden ersetzt wurden und zuletzt auf gesteuerte Gleichrichter übergegangen worden ist.
Die Hauptparameter des neuen Maschinentyps sind in Tafel 1 angegeben.

1. Kühlsystem

Der Turbogenerator vom Typ 2 HY 6688/2 VH ist mit dem Kühlsystem Wasser/Wasserstoff ausgerüstet, das im Bild 1 dargestellt ist. Die Statorwicklung einschließlich der Umleitungen und der Hauptstromdurchführungen wird in einem geschlossenen Kreislauf durch chemisch reines Wasser gekühlt, die Verluste aus den übrigen Teilen der Maschine werden mit Hilfe von Wasserstoff, dessen Nenndruck 400 kPa beträgt, abgeführt. Für den Betrieb mit verringerter Leistung ist die Maschine mit einem zweiten Meßgerätesatz für einen Betriebsdruck von 300 kPa ausgerüstet.
Die Umwälzung des Wasserstoffs erfolgt durch einen Radial-Kompressor, der auf dem Wellenzapfen des Induktors auf der Erregerseite angeordnet ist. Die Statorbleche haben ein axiales Kühlsystem, das in zwei Kühlzonen aufgeteilt ist; der Induktor hat Hohlleiter, in die der Wasserstoff im Wicklungskopfbereich in der Spulenachse eingespeist wird. Der Austritt des erwärmten Wasserstoffs erfolgt in der Mitte des Induktorballens.
Wie die Ergebnisse der Entwicklungs-Prüfungen der Maschine zeigten [3], ist das gewählte Kühlsystem so effektiv, daß die Erwärmung der aktiven Teile weit unter den Grenzwerten der Wärmebeständigkeitsklasse B bleibt, und darüber hinaus sind alle verwendeten Isolierungen in der Wärmebeständigkeitsklasse F ausgeführt. Das schafft die Voraussetzungen für eine hohe Beständigkeit gegenüber der Wärmealterung.
Die Betriebserwärmung der aktiven Teile der Maschine wurde, wie es international üblich ist, auf der Grundlage indirekter Erwärmungsmessungen auf dem Werkprüfstand ermittelt. Die maximale Erwärmung der Statorwicklung liegt entsprechend den übereinstimmenden Anzeigen der Nutwiderstandsthermometer und entsprechend der Temperatur des aus der Wicklung austretenden Wassers bei 15 K, die maximale Erwärmung der Statorbleche bewegt sich entsprechend den Anzeigen der eingebauten Widerstandsthermometer um 30 K. Die extrapolierte Kurve der mittleren Erwärmung der Erregerwicklung erreicht gemäß Bild 2 einen Wert von 33,5 K. Die Reaktanzen und Zeitkonstanten, ausgewertet aus dem Stoßkurzschlußversuch, entsprechen den angegebenen Werten. Die Prüfungen wiesen auch die Einhaltung des garantierten Wirkungsgrades nach (Tafel 2).
Die Ergebnisse der Entwicklungsprüfungen an einigen Maschinen im Kraftwerk [4] [5] ermöglichen, detailliert die Bedingungen für die Belastung der Maschine im Betrieb zu bestimmen. Die grundlegenden Grenzkurven in den Koordinaten Wirkleistung — Blindleistung enthält das Leistungsdiagramm im Bild 3, das für die beiden Betriebsdrücke 400 kPa und 300 kPa aufgestellt wurde. Die Begrenzungsgerade im untererregten Teil des Leistungsdiagramms wird durch die Einstellung des Wächters für die Untererregungsgrenze bestimmt, der die statische Stabilität bei einer bestimmten äußeren Netzreaktanz berücksichtigt. Die Begrenzungskurve für die Grenzerwärmung der Stirnbereiche des Stators wäre wesentlich höher.
Für die Zwecke der Einstellung der Begrenzer im Spannungsregler wurde die zulässige Zeitdauer für die kurzzeitige Überlastung der

Tafel 1. Parameter des Turbogenerators 2 HY 6688/2 VH

Scheinleistung		259000 kVA
Wirkleistung		220000 kW
Leistungsfaktor		0,85
Nennspannung		15750 V
Spannungsbereich		± 5 %
Nennstrom		9500 A
Drehzahl		3000 min^{-1}
Frequenz		50 Hz
Kapazitive Leistung bei U_N und cos φ = 0		100000 kVA
Induktive Leistung bei U_N und cos φ = 0		190000 kVA
Leerlauf-Kurzschlußverhältnis		k_0 = 0,56
Synchronreaktanz (ungesättigt)		x_d = 1,9
Übergangsreaktanz in der Längsachse (gesättigt)		x_d' = 0,227
Anfangsreaktanz in der Längsachse (gesättigt)		x_d'' = 0,17
Erregungsdaten	Leerlauf	Nennbelastung
Strom	900	2365 A
Spannung	102	327 V
absoluter Wasserstoffdruck		400/300 kPa

Dipl.-Ing. *Josef Hlaváč* ist Leiter der Abteilung für Berechnung und Entwicklung für große rotierende elektrische Maschinen im Elektrotechnischen Werk ŠKODA Plzeň (ČSSR)

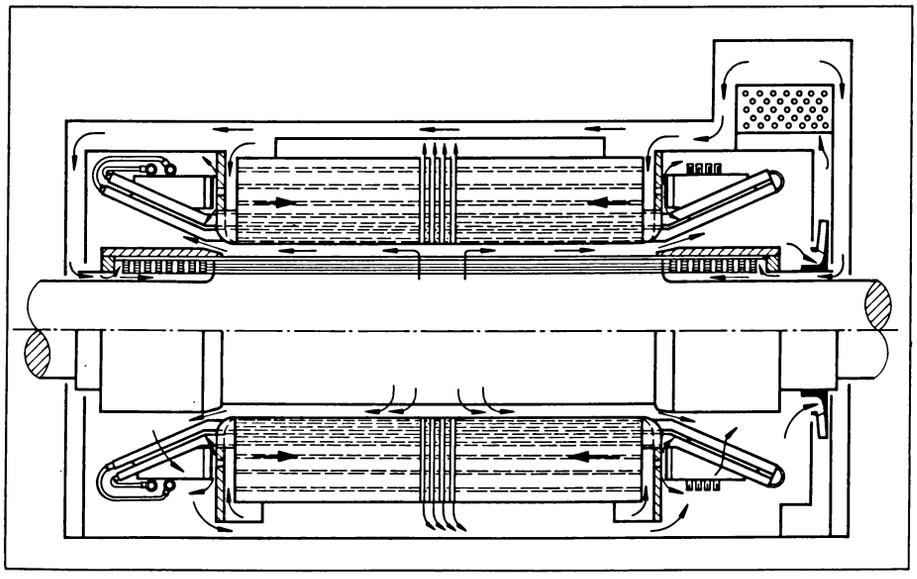


Bild 1. Schema des Kühlsystems des 259-MVA-Turbogenerators

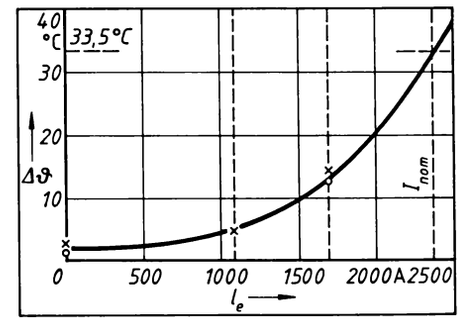


Bild 2. Extrapolierte Abhängigkeit der mittleren Erwärmung der Erregerwicklung von der Größe des Erregerstroms
x nach Stillsetzung; *o* bei Rotation

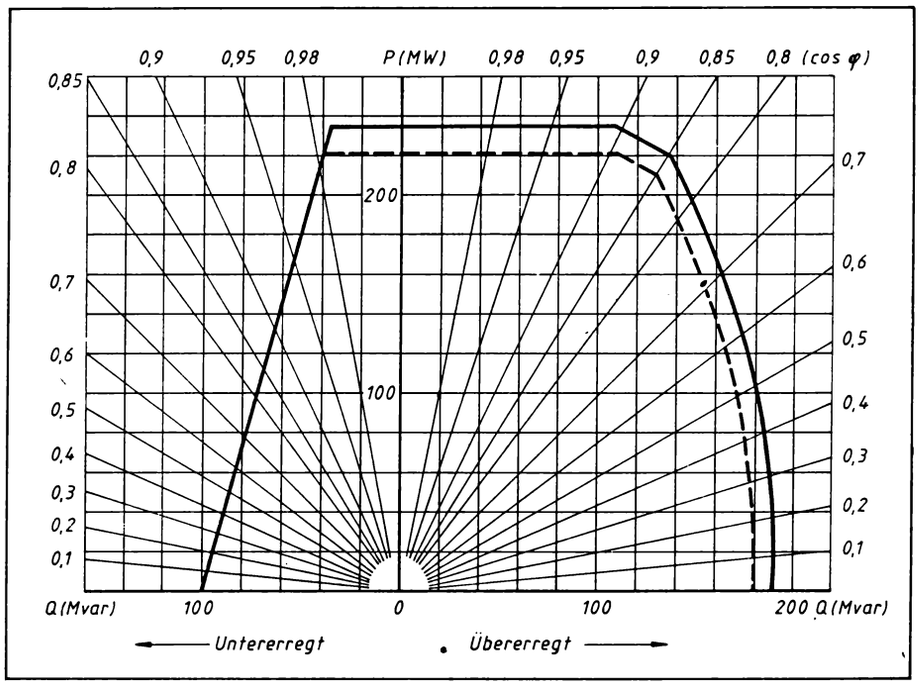


Bild 3. Leistungsdiagramm des 259-MVA-Turbogenerators
——— Wasserstoffdruck 400 kPa,
– – Wasserstoffdruck 300 kPa

Stator- und der Erregerwicklung t in Sekunden mit Hilfe der Gleichung

$$t \leqq \frac{60}{\left(\frac{I}{1{,}05\, I_{\mathrm{nom}}}\right)^2 - 1}$$

definiert (I Strom bei Überlastung, I_{nom} Nennstrom).

Bei der Wasserkühlung der Statorwicklung besteht auch bei sorgfältiger Ausführung der Arbeiten und gründlichen Fertigungsprüfungen die Gefahr der Entstehung von Undichtheiten während des Betriebes. Damit in einem solchen Fall kein Wasser in das Innere der Maschine eindringt, ist im Wasserkreislauf ein niedrigerer Druck vorhanden, als der Wasserstoffdruck in der Maschine beträgt. Dann nämlich dringt bei einer Undichtheit Wasserstoff in den Wasser-

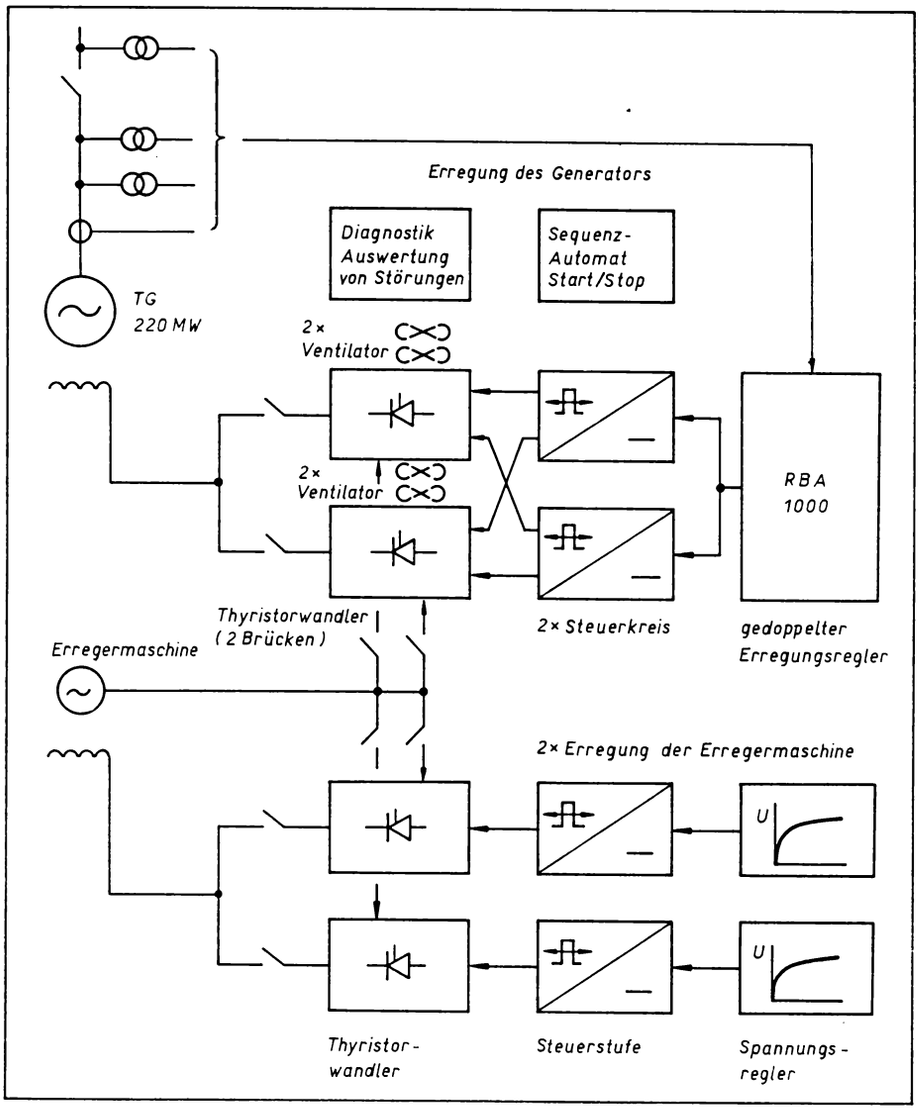


Bild 4. Schema des Erregungssystems

Tafel 2. Garantierte und gemessene Werte des Wirkungsgrades bei unterschiedlicher Belastung mit einem Leistungsfaktor von 0,85 (einschließlich der Verluste in den Lagern und der Erregereinrichtung)

Belastung (%)	100	75	50	25
– garantiert (%)	98,7	98,68	98,5	97.6
– gemessen (%)	98,72	98,72	98,58	97.78

kreislauf ein, wo sein Durchtritt angezeigt wird und der durchströmende Wasserstoff wird in die Atmosphäre abgelassen. Wenn sich die Undichtheit im weiteren nicht vergrößert, kann die Maschine in diesem Zustand auch über einen längeren Zeitraum betrieben werden. In der letzten Zeit werden bei den ŠKODA-Turbogeneratoren die Druckverhältnisse im Wasserstoff- und Wasserkreis so gewählt, daß die gesamte Wicklung bei beiden Betriebsdrücken vor dem Austritt von Wasser geschützt ist. Deshalb ist es auch notwendig, bei der Anwendung des niedrigeren Druckregimes den Wasserdurchsatz in der Wicklung herabzusetzen, damit sich der Druckabfall und damit auch der Wasserdruck in der Wicklung verringern.

2. Erregereinrichtung

Die Erregereinrichtung, die zusammen mit dem Generator geliefert wird, umfaßt die Wechselstrom-Erregermaschine, den Leistungs-Thyristorwandler einschließlich der Regelung und der Steuerung sowie die Erregereinrichtung für die Erregung der Erregermaschine.
Die Wechselstrom-Erregermaschine ist zweipolig, sie ist starr gekoppelt mit dem Induktor des Hauptgenerators; ihre Parameter für Dauerbelastung sind 2000 kVA, 1000 kW mit einer zulässigen Überlastung bei der Stoßerregung von 3600 kVA, 3350 kW für die Dauer von 20 s. Sie wird mit Hilfe eines gedoppelten abhängigen Erregungssystems dauernd auf eine konstante Spannung erregt.
Der Leistungsteil des Thyristorwandlers enthält zwei parallelgeschaltete Gleichrichter-Brücken. In jedem Brückenzweig sind jeweils acht Thyristoren für einen Strom von 200 A und eine Sperrspannung von 2000 V parallelgeschaltet, die zusammen mit den Sicherungen und den Schutzkreisen einzeln in einem speziellen Block eingebaut sind, der während des Betriebes auswechselbar ist. Die Brücken haben auf der Wechselstromseite einen eingebauten Überspannungsschutz, und es ist möglich, sie einzeln auf der Wechselstromseite mit einem Schutzschalter abzuschalten; die Trennung auf der Gleichstromseite gewährleisten Trennschalter. Für die volle Erregung im Nennbetrieb reicht eine der beiden Brükken aus.
An den Leistungsteil des Thyristorwandlers sind diagnostische Kreise angeschlossen, die die Auswertung von Störungen vornehmen, den Zustand der Einrichtung signalisieren und im Bedarfsfall die Größe des Erregerstroms begrenzen. Die Reihenfolge der Vorgänge beim Erregen und Entregen des Generators steuert eine Sequenz-Automatik.
Der Regler enthält zwei gleichwertige Einheiten, die außer der Regelung des Erregerstroms noch weitere Schutzfunktionen gewährleisten, wie die Begrenzung des Erregerstroms, des Statorstroms und die Überwachung der Untererregungsgrenze. Der Regler hat eine PID-Charakteristik und ist mit einer Folgeregelung ausgerüstet, die eine stoßfreie Umschaltung von einer Einheit auf die andere ermöglicht.
Beim Ansprechen der Schutzeinrichtungen wird der Generator mit Hilfe des Entregungsschalters AGP 30-44 mit magnetischer Lichtbogenlöschung entregt. Die Entregung der Maschine aus dem normalen Betrieb erfolgt durch Wechselrichterbetrieb des Thyristorwandlers. Der Schutz der Erregereinrichtung gegen Überspannungen an den Ausgangsklemmen, mögen diese von der Seite des Induktors oder von der Erregereinrichtung selbst herrühren, wird durch einen Schutzwiderstand realisiert, der bei Überschreitung des eingestellten Spannungsniveaus durch einen der beiden Thyristoren in Antiparallelschaltung parallel zur Erregerwicklung geschaltet wird. Das Schema des Erregungssystems ist im Bild 4 dargestellt.
Wie aus der vorangegangenen Beschreibung offensichtlich ist, wurde beim Entwurf der Erregereinrichtung mit außerordentlichem Nachdruck auf deren Betriebszuverlässigkeit Wert gelegt, sowohl durch die erhöhte Redundanz der einzelnen Bauteile als auch durch die Einschaltung der Diagnostik.
Aufgrund dieser Maßnahmen wird bei gleichzeitiger hoher Zuverlässigkeit der Generatoren und der Wechselstrom-Erregermaschinen bei analogen Maschinen in den tschechoslowakischen Kernkraftwerken eine Verfügbarkeit des Turbogenerators von über 99% erreicht.

Literatur

[1] *Havelka, K.; Pytlík, F.:* Turbogenerator 235 MVA, 200 MW von ŠKODA. Elektrotechnický obzor 54 (1965) 2, S. 58–65
[2] *Hlaváč, J.:* Kühlsystem des tschechoslowakischen Turbogenerators 235 MVA. Elektrotechnický obzor 54 (1965) 2, S. 66–73
[3] *Hlaváč, J.; Nový, F.:* Entwicklungsversuche an einem 200-MW-Turbogenerator. ŠKODA-Revue (1967) 3, S. 13–22

Beseitigung von Statorschwingungen eines 200-MW-Turbogenerators

K. Dytewski, Wroclaw, VR Polen

Ein häufiges Problem, das bei den Endprüfungen oder bei der Inbetriebsetzung von Turbogeneratoren größerer Leistung auftritt, sind erhöhte Schwingungen. Im allgemeinen entstehen die erhöhten Schwingungen im mechanischen System Rotor — Lager — Fundament und ihre typischen Ursachen sind Rotorunwucht, Betrieb in Resonanznähe, Kupplungsfehler usw. Jedoch treten bei Turbogeneratoren größerer Leistung, z.B. 200 MW und mehr, manchmal Probleme auf, die mit Schwingungen im System Statorblechpaket — elastische Blechpaketaufhängung — Statorgehäuse verbunden sind.
Diese Schwingungen, erzwungen durch radiale magnetische Kräfte des Rotors auf den Stator, können einen destruktiven Einfluß zunächst auf das Konstruktionssystem der Blechpaketaufhängung im Gehäuse haben. Insbesondere können sie zu Schweißnahtrissen, Lockern von Schraubverbindungen usw. führen. Die Beseitigung von Schwingungen dieser Art kann sehr umständlich sein. Meistens ist das mit der Notwendigkeit verbunden, bestimmte Änderungen oder Ergänzungen in die Konstruktion der Blechpaketaufhängung einzuführen. Nachfolgend wird ein Sonderfall erhöhter Schwingungen eines 200-MW-Turbogenerators sowie ein konstruktives Hilfsmittel zu ihrer Beseitigung beschrieben.

1. Geschichte des Problems

Im Jahre 1987 wurden in einem Kraftwerk an zwei von der Fa. DOLMEL gelieferten Turbogeneratoren mit Leistungen von 200 MW (im folgenden mit Nr. 1 und Nr. 2 bezeichnet) Schwingungsmessungen des Statorgehäusemantels durchgeführt. Gemessen wurden Schwingungen längs der vier Gehäuseanregenden, die in den Ebenen der Blechpaketführungsbalken 5, 8, 24 und 27 lagen. Zu jeder Anregenden wurden die Schwingungen in 28 Meßstellen (Bild 1) gemessen.
Die Meßergebnisse für den Generator Nr. 1 sind graphisch in den Bildern 2a) und 2b) dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die Schwingungsstärke V_{eff} in mm s^{-1} auf der linken Generatorseite in den Balkenebenen 5 und 8 keine starke Änderung längs der Gehäuseanregenden aufweist und grob gerechnet in einem Bereich von 2 bis 4 mm/s liegt (Bild 2a). Auf der rechten Generatorseite bleibt in den Ebenen der Balken 24 und 27 eine ähnliche Schwingstärke auf nur einer halben Gehäuselänge auf NS, d.h. von Meßstelle 15 bis 28, erhalten.
Auf der anderen Hälfte, d.h. von Meßstelle 1 bis 14, ist die Schwingstärke mehr differenziert, insbesondere in der Ebene des Balkens 24. Die Schwinggeschwindigkeit wächst hier allmählich von 2 mm/s an Meßstelle 1 bis zum Spitzenwert von 10 mm/s an Meßstelle 12 an und fällt wieder auf 5 mm/s an Meßstelle 14 ab.
Die Ergebnisse ähnlicher, am Generator 2 durchgeführter Messungen waren fast identisch. Die größten Schwingungen traten auch in der Ebene des Balkens 24 auf, wobei der Spitzenwert, der wie beim Generator 1 an der Meßstelle 12 auftrat, etwas niedriger lag und 8,5 mm/s betrug.
Die Messungen wurden bei einer Belastung des Generators mit etwa 190 MW Wirkleistung und etwa 80 Mvar Blindleistung vorge-

Dr.-Ing. *Konrad Dytewski* ist Leiter der Forschungsabteilung für Elektrische Maschinen DOLMEL, Wroclaw.

[4] *Hodoušek, V.; Skokan, V.; Kruta, J.:* Leistungsbereich des Turbogenerators 235 MVA von ŠKODA. Energetika, Praha 26 (1967) 10, S. 443–448
[5] *Hodoušek, V.:* Übergang der Turbogeneratoren in den Asynchronbetrieb mit niedrigerer Belastung. Energetika, Praha 32 (1982) 7, S. 298–302
[6] *Hlaváč, J.; Strunc, J.:* ŠKODA-Turbogeneratoren zu Beginn der achtziger Jahre. Elektrotechnický obzor 71 (1982) 7, S. 374–387

EA 5982

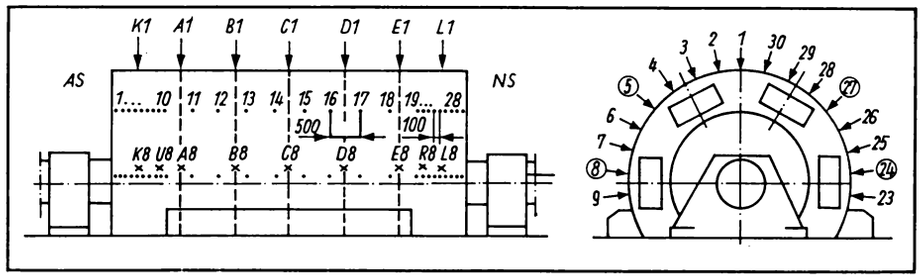


Bild 1. Meßstellen für Schwingungsmessungen
× in der ersten Prüfungsphase
• in der zweiten Prüfungsphase

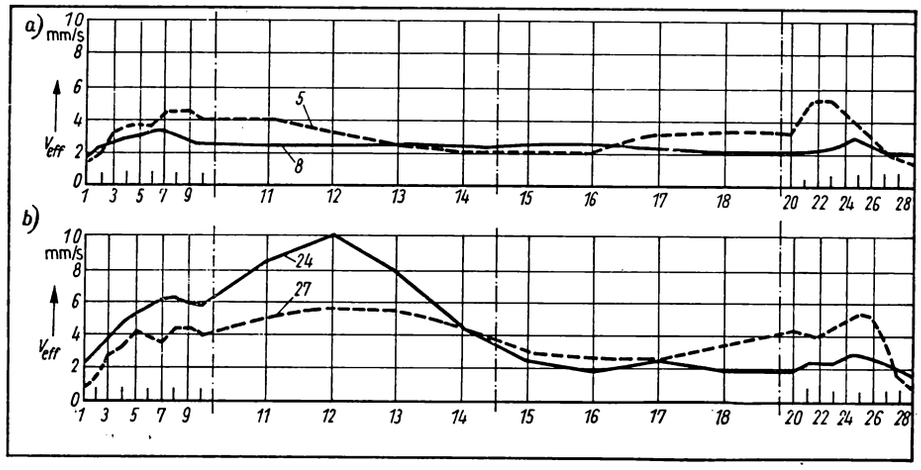


Bild 2. Schwingstärke V_{eff} in mm s^{-1} am Statorgehäusemantel, gemessen längs der Anregenden in den Trägerebenen 5, 8, 24 und 27

nommen. Mit diesen Meßergebnissen entstand die Frage nach der Beurteilung des dynamischen Zustandes der beiden Generatoren.
Bedingt durch den Mangel an national oder internationalen Standards für zulässige Statorschwingungen von Turbogeneratoren sowie an entsprechenden eigenen Erfahrungen auf diesem Gebiet, faßte man den Entschluß, zur Gewinnung von Vergleichsmaterial ähnliche Messungen an identischen Generatoren durchzuführen.

2. Vergleichsmessungen

Es ist hervorzuheben, daß sich die oben erwähnten Generatoren Nr. 1 und Nr. 2 von vielen anderen seit langem fehlerlos funktionierenden Generatoren vom gleichen Typ dadurch unterscheiden, daß bei ihrer Blechpaketherstellung das Vibrationspreßverfahren zum ersten Mal angewandt wurde.
In dem hier behandelten Zeitraum waren in Kraftwerken nur noch drei andere Generatoren mit solchen gepreßten Blechpaketen in Betrieb. An diesen Generatoren — in drei verschiedenen Kraftwerken installiert, mit den Nummern 3, 4 und 5 bezeichnet — wurden Vergleichsmessungen unter Beibehaltung derselben Anordnung von Meßstellen wie bei den Generatoren 1 und 2 durchgeführt.
Die Meßergebnisse für den Generator Nr. 3 waren sowohl im Hinblick auf ihre Verteilung, als auch auf ihre absoluten Werte praktisch mit den für die Generatoren 1 und 2 früher erhaltenen Meßergebnissen identisch. Die größten Schwingungen traten wie vorher in der Balkenebene 24 auf, wobei an der Meßstelle 12 der maximale Wert der Schwinggeschwindigkeit von 8 mm/s gemessen wurde.
Die Meßergebnisse für die Generatoren 4 und 5 waren wesentlich schlechter. Die Schwingungsverteilung längs der Anregenden war nicht mehr der für die Generatoren 1, 2 und 3 ähnlich. Die gemessenen Maximalwerte traten an anderen Meßstellen auf (beim Generator 4 in der Balkenebene 24, an Meßstelle 16 und beim Generator 5 in der Balkenebene 8, an Meßstelle 13) und in beiden Fällen betrugen sie etwa 16 mm/s.

3. Vorläufige Beurteilung des dynamischen Zustandes der Generatoren sowie weitere diagnostische Maßnahmen und Hilfsmaßnahmen

Anhand der erhaltenen Ergebnisse der Vergleichsmessungen wurde der dynamische Zustand der interessierenden Generatoren vorläufig beurteilt. Dieser Beurteilung nach wurden die Generatoren 1, 2 und 3 zum weiteren Betrieb ohne Beschränkungen zugelassen, mit der Empfehlung, periodische Kontrollen der Statorschwingungen vorzunehmen.

Der Zustand der Generatoren 4 und 5 wurde als nicht befriedigend befunden, und es wurde festgelegt, mit diagnostischen Analysen zu beginnen und die Ursache der übermäßigen Schwingungen, zuerst am Generator 4 zu beseitigen.
In dieser Prüfungsphase wurde die Meßstellenanordnung etwas verändert, weil die Schwingungen in der Balkenebene 1 in der Regel größer waren als die in den Balkenebenen 5 und 27. Man beschränkte sich also auf Messungen in den Balkenebenen 1, 8 und 24. Die Anzahl der Meßstellen längs der Balken wurde auf zehn reduziert. Im Bild 1 sind diese Meßstellen mit Kreuzen und den Buchstaben K, U, A, B, C, D, E, R, L bezeichnet.
Eine Verteilung der Schwingstärke V_{eff} in mm s^{-1} am Generator 4 längs der Balken 1, 8 und 24, erhalten aus Messungen bei der neuen Meßstellenanordnung, wurde im Bild 3 dargestellt.
Es wurde eine harmonische Analyse der Schwingungen durchgeführt und festgestellt, daß die Harmonischen mit den Ordnungszahlen 2 und 4 dominierten. Beispielsweise betrugen an der Meßstelle C1 die Amplituden der einzelnen Harmonischen des Schwingweges S_i in µm, d.h. der ersten Harmonischen mit 50 Hz, der zweiten mit 100 Hz und der vierten mit 200 Hz, 17 µm, 75 µm und 26,5 µm. An Meßstelle C24 hatten diese Harmonischen die Werte 12 µm, 53 µm und 17,5 µm und an der Meßstelle C8 10 µm, 43 µm und 14 µm. Das Konstruktionssystem des Statorblechpakets und die Art seiner elastischen Aufhängung im Gehäuse ist im Bild 4 in Ausschnitten dargestellt.
Das Blechpaket 1 mit einem Außendurchmesser von 2500 mm und einer Länge des aktiven Teils von 4300 mm, zusammengesetzt aus Dynamoblechsegmenten, wird längs der Anregenden mit entsprechenden Ausnehmungen auf 30 gleichmäßig am Umfang verteilten Stahlbalken 2 geführt.
Jeder Balken ist an beiden Enden mit Gewinde M 56 versehen. Das Blechpaket wird axial durch die Druckringe 3 mit Hilfe der auf die Enden der Führungsbalken aufgeschraubten Muttern gepreßt. Alle Führungsbalken sind punktweise (insgesamt 10 Punkte auf der ganzen Balkenlänge) mit den Flachfedern 5 und mit Hilfe der Schrauben 6 (M 16) verbunden.
Die Flachfedern 5 sind mit den Platten 7 an die Querwände des Gehäuses 8 angeschweißt. Das Ganze ist mit dem an die Gehäusequerwände angeschweißten Mantel 9 überdeckt.
Wie bereits erwähnt, besteht das charakteristische Merkmal aller analysierten Generatoren 1 bis 5, daß sie von den früher hergestellten und im Betrieb bleibenden Generatoren vom gleichen Typ unterscheidet, darin, daß ihre Blechpakete bei der Herstellung nach einem Vibrationsverfahren gepreßt worden sind.
Als man weitere Prüfungen am Generator 4 vornahm, vermutete man zuerst, daß die übermäßigen Schwingungen des Gehäuse-

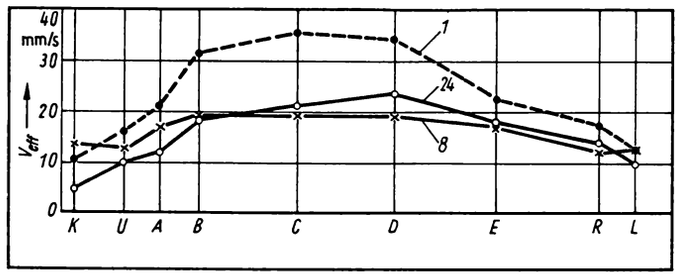


Bild 3. Schwingstärke am Statorgehäusemantel des Generators 4, gemessen längs der Anregenden 1, 8 und 24 vor der Einführung des Hilfsmittels

mantels durch das Lockern der Schrauben 6 verursacht waren. Demzufolge wurden aus dem Stator die Wasser — Wasserstoff-Kühler ausgebaut und durch so entstehende Kanäle zwischen Blechpaket und Gehäusemantel eine Sichtkontrolle vorgenommen, um den Zustand der Schraubverbindungen und bei dieser Gelegenheit auch den Zustand der Schweißverbindungen zu prüfen. Es wurden weder lockere Schrauben noch beschädigte Schweißnähte gefunden. Dessenungeachtet wurden einige Schrauben mit noch größerem Moment angezogen. Anschließend wurde der Generator wieder zusammengebaut und in Betrieb gesetzt.

Messungen, die nach dem selben Schema wie vorher durchgeführt wurden, wiesen keine Verbesserung auf. Als man weitere Messungen bei verschiedenen Belastungen durchführte, stellte man fest, daß die Schwingstärke stark mit der Blindleistung und viel schwächer mit der Wirkleistung anwuchs.

Der nächste Schritt zur Feststellung der Schwingungsursachen waren Schwingungsmessungen im Statorinnern, direkt am Träger 1 und auch am Blechpaket in unmittelbarer Nähe dieses Trägers.

Es stellte sich heraus, daß die Schwingstärke des Trägers ungefähr um eine Größenordnung höher war als die des Blechpakets (z. B. Blechpaketschwingungen etwa 10 µm und Trägerschwingungen etwa 100 µm).

Es wurde klar, daß zu große Spiele zwischen Träger und Blechpaket an den Schwalbenschwänzen auftraten (Bild 4, Einzelheit B). Es kam also darauf an, diese Spiele durch eine erzwungene Trägerverlagerung in radial-zentrifugaler Richtung zu beseitigen.

Von verschiedenen konstruktiven Lösungen dieses Problems wurde eine relativ einfache Version gewählt, die darin bestand, daß Keile (10, Bild 4, Einzelheit A und B) zwischen die Seitenflächen der Träger und des Blechpakets eingetrieben wurden. Es wurde vorgesehen, jeden Träger an 10 Stellen der Länge nach zu verkeilen, d. h. in der Mitte jedes Abschnittes zwischen den Gehäusewänden. Die eingetriebenen Keile wurden gegen Herausfallen durch Schweißen gesichert.

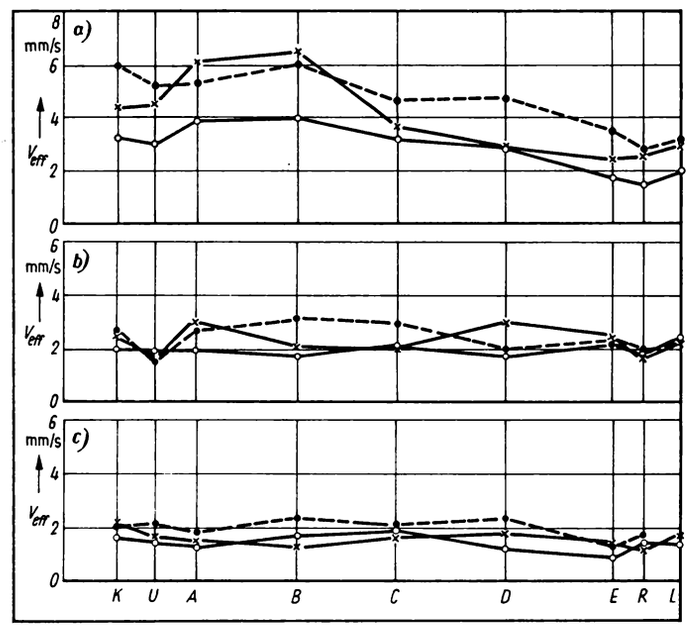


Bild 5. Schwingstärke am Statorgehäusemantel, gemessen längs der Anregenden a) in Trägerebene 8, b) in Trägerebene 24, c) in Trägerebene 1, unmittelbar nach der Trägerkeilung (× – ×), nach 6 Monaten (o – o) und nach 9 Monaten (• — •)

Das größte Problem war die praktische Durchführung der gefährlichen Schweißarbeiten unter den Bedingungen des engen und geschlossenen Raumes. Trotz dieser Schwierigkeiten wurden das Schweißen und das Verkeilen mit Erfolg abgeschlossen und es konnte mit weiteren Generatorprüfungen begonnen werden.

4. Weitere Prüfungen nach der Trägerverkeilung

Nach der Verkeilung der Träger wurde der Generator wieder in Betrieb gesetzt und es wurden Schwingungsmessungen vorgenommen. Das Meßergebnis ist in den Bildern 5a) bis 6c), Kurven x—x, dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß die Schwingungen radikal bis auf einen ganz unschädlichen Pegel abgenommen haben, wodurch die Richtigkeit der Diagnose und die Wirksamkeit des Hilfsmittels bestätigt worden ist.

Es blieb nur noch die Zuverlässigkeit der Verkeilung zu prüfen, und das erfolgte durch Schwingungsmessungen, die nach einiger Betriebszeit des Generators vorgenommen wurden. Die Bilder 5a) bis 5c) zeigen Schwingungsdiagramme für dieselben Trägerebenen 1,

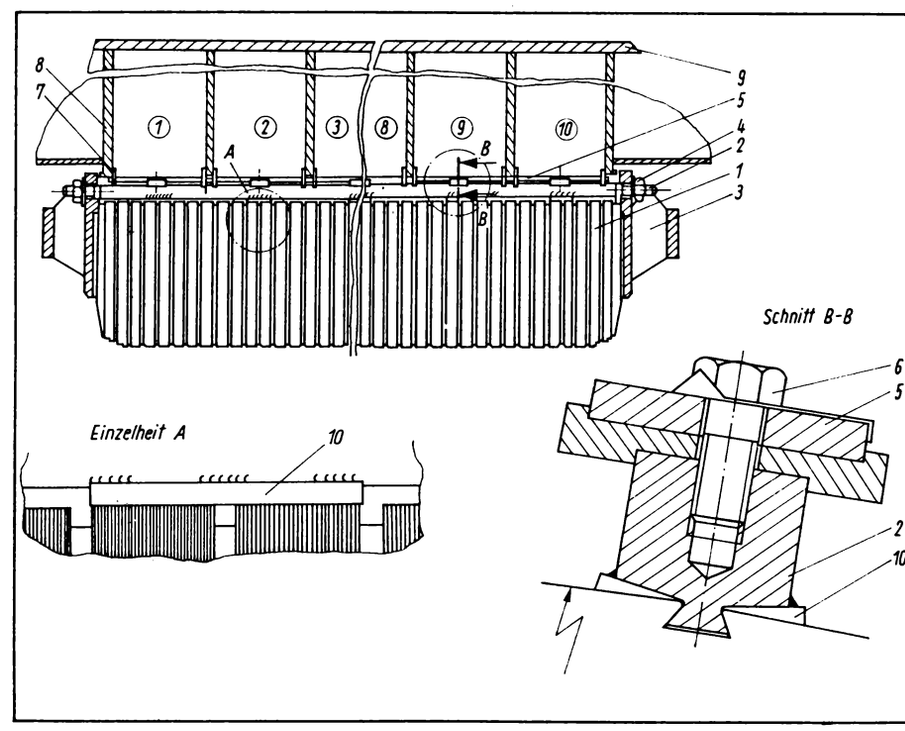


Bild 4. Einzelheiten der elastischen Aufhängung des Statorblechpakets im Gehäuse
1 Blechpaket, 2 Führungsträger, 3 Preßring, 4 Mutter M 56, 5 Flachfeder, 6 Schraube M 16, 7 Platte, 8 Querwand, 9 Gehäusemantel, 10 Keil

8 und 24 nach 6 Monaten (Kurven o — o) und 9 Monaten (Kurven • — •). Auf Grund dieser Diagramme kann man die Stabilität der Träger 1 und 24 als sehr gut beurteilen. Die Schwingungen des Trägers 8 weisen zwar eine Änderung auf, jedoch nach 9 Monaten des Generatorbetriebs bei Nennparametern überschreitet der maximale Wert der Schwinggeschwindigkeit 6 mm/s nicht und das darf als ein zufriedenstellender Zustand bezeichnet werden.
Es ist also ersichtlich, daß sich die beschriebene Trägerverkeilung als Hilfsmittel für die schon in Betrieb befindlichen Generatoren wirksam erwiesen und in der Praxis bewährt hat.
Infolge obiger Erfahrungen wurden für neugebaute Generatoren mit den nach Vibrationsverfahren gepreßten Eisenkernen anstatt der Balkenverkeilung verengte Toleranzen der Trägerausführung zwecks Verminderung des Spieles Träger — Blechpaket eingeführt.

5. Schlußfolgerungen

1. Bei Generatoren höherer Leistungen können die durch magnetische Kräfte hervorgerufenen Schwingungen im System Statorblechpaket — elastische Blechpaketaufhängung — Statorgehäuse zu einem wesentlichen Problem werden.
2. Eine der Ursachen übermäßiger Schwingungen in diesem System, z. B. in dem beschriebenen Fall, kann die Vergrößerung der Spiele an den Schwalbenschwänzen der Blechpaketaufhängung infolge des angewandten Vibrationsverfahrens sein. Deswegen sind beim Entwerfen eines Generators Lösungen anzuwenden, die solche Spiele wirksam begrenzen.
3. Die in diesem Bericht beschriebene Form, die Trägerspiele von schon in Betrieb befindlichen 200-MW-Turbogeneratoren durch Verkeilung der Träger zu eliminieren, hat sich als wirksam erwiesen und in der Betriebspraxis bewährt.

EA 6005

Kurze Fasern aus supraleitender Keramik — Anwendung der Hochtemperatur-Supraleiter in der Mikroelektronik am aussichtsreichsten

Vor etwa drei Jahren wurden die sog. Hochtemperatur-Supraleiter entdeckt, bei denen bereits flüssiger Stickstoff als Kühlmittel reicht, damit sie elektrischen Strom verlustlos leiten. Während Anwendungen in der Starkstromtechnik noch in weiter Ferne liegen, gibt es für den Einsatz in der Mikroelektronik bereits interessante Verfahren. Da die neuen Supraleiter keramische Materialien und dementsprechend spröde sind, lassen sie sich schwer verarbeiten. Das Drahtziehen im klassischen Sinne ist kaum möglich. Aber bei den Bemühungen um hochtemperatur-supraleitende Drähte wurden erste Ergebnisse erzielt.
An der Stanford-Universität in Kalifornien gelang es, von einem Stab aus einer Wismut-Strontium-Kalzium-Kupferoxid-Keramik kurze Fasern zwischen 0,15 und 1 mm Länge zu erzeugen. Dazu wurde der Stab mit einem Kohlendioxid-Laser angeschmolzen und entsprechende Kristall-Keime eingesetzt. Diese Fasern sind noch sehr kurz, aber mit Hilfe der Erfahrungen bei der Glasfaserproduktion sind auf dieser Grundlage Verfahren denkbar, die zu brauchbaren Längen führen. Dennoch ist mit dem Bau von Höchstleistungs-Magnetspulen aus keramischen Hochtemperatur-Supraleitern wesentlich später zu rechnen als mit Chips, deren supraleitende Schaltelemente aus Dünnfilmen herausgeätzt werden. Bereits mehreren Forschungslaboratorien gelang es, derartige keramische Dünnfilme kristallin auf Substraten abzuscheiden. Damit werden die neuen Supraleiter für die Mikroelektronik interessant, bei der es nicht auf große Stromtragfähigkeiten ankommt, sondern auf die Quanteneffekte der Supraleitung, wie dem Josephson-Effekt, mit dem sich Schaltelemente realisieren lassen. (ADN/EL)

Entwicklung und Fertigung hochwertiger technischer Konsumgüter im VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau

P. Karsch; F. Weber; G. Bodau; Berlin

Der VEB Bergmann-Borsig entwickelt und produziert seit 1955 elektrische Rasierapparate. Bisher wurden 7,5 Mill. Elektrorasierer in 10 verschiedenen Typen produziert. Eine ständige Erzeugnisweiterentwicklung war Grundlage für die Herausbildung als alleiniger Produzent von Elektrorasierern in der DDR und ist auch heute die Grundlage für die ununterbrochene Sicherung des Gütezeichens „Q" für das jeweilige Haupterzeugnis seit dem Jahre 1976.
Nach Erreichung einer vollen Bedarfsdeckung im Inland erfolgte eine verstärkte Orientierung auf den Export, insbesondere NSW-Export. Den daraus entstehenden Anforderungen hinsichtlich Disponibilität, mustergetreue Fertigung und Erzeugnisentwicklung konnte erfolgreich entsprochen werden.
Der Anteil des relativ selbständigen Bereiches Konsumgüter im VEB Bergmann-Borsig an der gesamten industriellen Warenproduktion des Betriebes ist seit Jahren größer als 8% und erbringt damit den Nachweis, daß Konsumgüterproduktion auch in den produktionsmittelherstellenden Betrieben effektiv durchgeführt werden kann.

1. Ausführungsformen des Schwingankerantriebs und sein Einsatz in Rasierapparaten der Produktion des VEB Bergmann-Borsig

International ist der Schwingankerantrieb sowohl in elektrischen Rasierapparaten als auch in Haarschneidgeräten weit verbreitet. Es sind dabei Konstruktionen ausgeführt, die sich in der Schwingfrequenz des beweglichen Hauptelements unterscheiden. Ausgehend vom Aufbau und vom Betriebsverhalten der Schwingankergeräte sind folgende Ausführungsformen denkbar:

1. Schwinganker mit der doppelten Frequenz der angelegten Spannung.
2. Schwinganker mit der einfachen Frequenz der angelegten Spannung ohne Überlagerung eines Gleichfeldes.
3. Schwinganker mit der einfachen Frequenz der angelegten Spannung mit Überlagerung eines Gleichfeldes.
3.1. Ausführung mit Permanentmagnet im Mittelschenkel des ruhenden Hauptelements.
3.2. Ausführung mit Permanentmagnet im beweglichen Hauptelement.

Das Produktionsprogramm des VEB Bergmann-Borsig umfaßt zur Zeit Rasierapparate mit den Ausführungsformen nach 1. und 3.2.

1.1. Schwinganker mit der doppelten Frequenz der angelegten Spannung

Im Bild 1 ist der prinzipielle Aufbau eines Schwingankers mit der doppelten Frequenz der angelegten Spannung dargestellt. Das ruhende Hauptelement ist als U-Schnitt ausgebildet. Auf einem Schenkel befindet sich die Erregerspule. Das bewegliche Hauptelement ist mit Federelementen abgestützt. Eine Ausführung mit zwei Spulen, von denen auf jedem Schenkel des U-Schnittes eine angebracht wäre, ist ebenfalls möglich, aber mit einem höheren Arbeitsaufwand in der Fertigung verbunden. Die Gestaltung der Polflächen ist vom Abstand Drehpunkt des beweglichen Hauptelements und Luftspalt abhängig. Sie müssen so gestaltet sein, daß im gewünschten Bewegungsbereich, der durch die für die Rasur not-

Dr.-Ing. *Peter Karsch* ist Entwicklungsingenieur im Bereich Konsumgüter, Dipl.-Ing. *Frank Weber* ist Leiter des Bereichs Konsumgüter, Dipl.-Ing. *Günter Bodau* ist Konstrukteur im Bereich Konsumgüter des VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinats Kraftwerksanlagenbau Berlin.

wendige Schwingweite des Scherkopfes bestimmt wird, eine möglichst große Zunahme der Selbstinduktivität der Wicklung bei Annäherung der Hauptelemente erreicht wird. Über den gewünschten Bewegungsbereich hinaus, wird eine möglichst große Abnahme der Induktivität angestrebt, um ein Überschwingen zu verhindern.
Der zur Zeit gefertigte Typ dieser Geräteausführung im Produktionsprogramm des VEB Bergmann-Borsig ist der „bebo sher JUNIOR" (Bild 2), mit dem, wie schon der Name sagt, besonders die jugendlichen Interessenten angesprochen werden sollen. Dieses Gerät ist für 220 V ausgelegt und zeichnet sich durch einfache Handhabung, hohe Zuverlässigkeit und gute Rasurdurchführung aus.

1.2. Schwinganker mit der einfachen Frequenz der angelegten Spannung und einem Permanentmagneten im beweglichen Hauptelement

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Reduzierung der Schwingfrequenz ist die Verringerung des Geräuschpegels. Im Vergleich der Ausführungsformen mit Permanentmagnet im ruhenden bzw. im beweglichen Hauptelement ergeben sich Vorteile für die gewählte Ausführung in den thermischen und materialökonomischen Verhältnissen, die durch die einfache Konstruktion des feststehenden Hauptelements bedingt sind. Dagegen können sich Nachteile im Schwingungsverhalten des gesamten Gerätes ergeben, da durch die für die Funktion des Gerätes notwendige, relativ große Masse des Permanentmagneten das Trägheitsmoment des beweglichen Hauptelements zunimmt und durch das Verhältnis zum Trägheitsmoment des Gesamtgerätes zu verstärkten Schwingungen führt. Sie können durch konstruktive Maßnahmen in Grenzen gehalten werden. Einige Aussagen zu den Gehäusevibrationen des „bebo sher 2005" (Bild 3) werden im Abschn. 2.3. gemacht.
Im Bild 4 ist der prinzipielle Aufbau des magnetischen Kreises eines Schwingankers mit der einfachen Frequenz der angelegten Spannung dargestellt. Das ruhende Hauptelement ist als E-Kern ausgebildet und die Erregerspule ist auf dem Mittelschenkel angeordnet. Das bewegliche Hauptelement ist mit Federelementen abgestützt. In dieser Form ist der Magnetkreis des „bebo sher 2005" ausgeführt. Der Elektrorasierer „bebo sher 2005" zeichnet sich im Vergleich zum „bebo sher JUNIOR" durch höhere Gebrauchswerte aus. Er ist für die Spannungen 110/220 V bzw. 127/240 V sowie auch für den 60-Hz-Betrieb ausgelegt. Er verfügt weiterhin über einen Ein- und Ausschalter sowie über einen zuschaltbaren Langhaarschneider. Das verwendete Nickel-Scherblatt entspricht dem internationalen Niveau auf diesem Gebiet und garantiert eine schnelle Rasur, gute Rasurqualität und sehr gute Gleiteigenschaften und Hautverträglichkeit.
Durch die verschiedensten Verkaufsvarianten und Zubehörteile kann sich der Käufer ein Ensemble nach seinen Wünschen gestalten. Das Design des „bebo sher 2005" ist ansprechend und durch die Entwicklung eines Haarschneidteils wurde ein weiterer Gebrauchs-

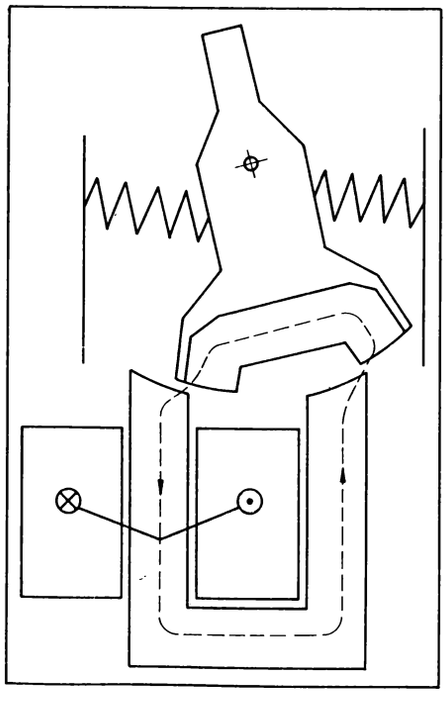


Bild 1
Schwinganker mit doppelter Frequenz der angelegten Spannung

Bild 2
Bebo sher junior

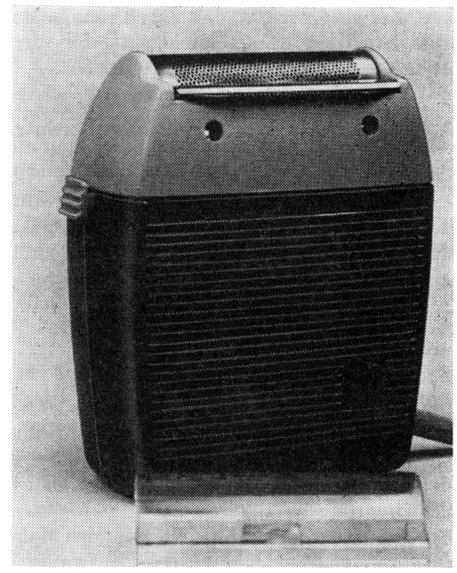


Bild 3
Bebo sher 2005
a) Variante 1: Rasiergerät, b) Variante 2: Haarschneidgerät

wert dadurch erreicht, daß durch wenige Handgriffe aus dem Elektrorasierer ein Haarschneidgerät für den Hausgebrauch wird (Bild 3).

2. Optimierung des Schwingankerantriebs für elektrische Rasierapparate

An der Optimierung des Schwingankerantriebs wird beim VEB Bergmann-Borsig seit Jahren gearbeitet. Dabei erfolgt die Konzentration auf folgende wesentliche Bauteile und Maßnahmen:

- Magnetischer Kreis
- Schwingfedern
- Vibrationsverringerung.

2.1. Magnetischer Kreis

Die Optimierung des magnetischen Kreises erfolgte unter Einbeziehung der TH Ilmenau und des Zentralinstituts für Festkörperphysik und Werkstofforschung (ZFW) der AdW und konzentrierte sich im wesentlichen auf die Geräteausführung mit einfacher Schwingfrequenz.

Bei den Arbeiten zur Optimierung des Magnetkreises wurde davon ausgegangen, daß sich, wie das Bewegungs- und Geräuschverhalten des Ausgangsgerätes „bebo sher 2001" zeigt, das Schwingsystem mit einem Permanentmagneten im beweglichen Hauptelement bewährt hat und stabil arbeitet.

Bei der Optimierung des Magnetkreises wurde, wie oben ausgeführt, davon ausgegangen, daß die Polflächen so gestaltet sind, daß eine große Induktivitätsänderung bei Bewegung erreicht wird. Zielpunkte der Optimierung waren deshalb in der Hauptsache die Erregerspule, das Jochpaket des ruhenden Hauptelements sowie das bewegliche Hauptelement. Dabei wurden ausgehend vom „bebo sher 2001" über den „bebo sher 2003" zum „bebo sher 2005" bedeutende Ergebnisse aus materialökonomischer Sicht erreicht.

Wie theoretische und praktische Untersuchungen, die an der TH Ilmenau in Zusammenarbeit mit dem VEB Bergmann-Borsig durchgeführt wurden, ergaben, konnte das ruhende Hauptelement des magnetischen Kreises durch Verminderung des Materialeinsatzes in seiner Masse mehrfach reduziert werden.

Als erster Schritt der Optimierung des magnetischen Kreises wurde beim Übergang vom „bebo sher 2001" zum „bebo sher 2003" die Ausführung mit je einer Erregerspule auf den Außenschenkeln in eine Ausführung mit einer Zweikammerspule auf dem Mittelschenkel geändert. Damit konnte eine Materialeinsparung von etwa 27 g Kupfer je Gerät erreicht werden, die bei einer Gesamtproduktionsstückzahl von 1,4 Millionen Geräten eine volkswirtschaftlich bedeutende Größe darstellt. Weiterhin führte dieser Übergang zu einer Spule auf dem Mittelschenkel, wie in [2] nachgewiesen wurde, zu folgenden, die Funktion des Gerätes verbessernden Ergebnissen:

- kleinere Wirkkomponente des Stromes und damit kleinere Wirkleistungsaufnahme
- größere Induktivität
- größere Induktivitätsänderung bei Bewegung und damit stabilere Funktion bei kleinerer Leistungsaufnahme
- geringere Erwärmung der Erregerspule.

In einem zweiten Schritt der Optimierung des magnetischen Kreises wurde beim Übergang zum „bebo sher 2005" die Zweikammer- durch eine Einkammerspule ersetzt und durch eine Verringerung des Querschnittes der magnetisch weniger beanspruchten Außenschenkel des E-Kerns eine Einsparung an Dynamoblech von 7,5 % erreicht. Diese Masseverminderung des ruhenden Hauptelements führte zu einer besseren Handhabung des Gerätes, wirkte sich aber insgesamt nicht positiv auf das Schwingverhalten aus, da die Masse des beweglichen Hauptelements, wie die Untersuchungen zeigten, wegen der für ein stabiles Schwingverhalten erforderlichen Masse des Permanentmagneten, nicht vermindert werden konnte.

Weitere Optimierungsuntersuchungen, die in Zusammenarbeit mit dem ZFW durchgeführt wurden, beschäftigten sich mit dem Einsatz von Feingußjochen anstelle der Joche aus Dynamoblech im ruhenden Hauptelement, die aus dem Werkstoff FeAl 11 hergestellt, gute Ergebnisse im Betriebsverhalten von Versuchsmodellen zeigten. Ein genereller Einsatz solcher Joche ist aber aus technologischen, ökonomischen und Kapazitätsgründen bisher noch nicht möglich.

2.2. Einfluß der Schwingfederqualität auf die Funktionsfähigkeit des Antriebs

Ausgehend von den in der Serienfertigung sporadisch aufgetretenen Problemen in der Beherrschung der erforderlichen Schwingweite und Durchzugskraft des Scherkopfes als entscheidendem Parameter zur Gewährleistung einer schnellen und gründlichen Rasur wurden an Rasierapparaten aus der Serienfertigung umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei war davon auszugehen, daß die Funktionsfähigkeit des Gerätes nicht ausschließlich von der optimalen Auslegung des magnetischen Kreises einschließlich der Beherrschung des Luftspaltes zwischen beweglichem und ruhendem Hauptelement, sondern gleichermaßen von der Dämpfung des Systems bestimmt wird.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten die Einflußfaktoren auf die Qualitätslage des Antriebes eingegrenzt und die wesentlichen quantitativ bestimmt werden.

Wird in vereinfachender Weise davon ausgegangen, daß die Bestandteile der Dämpfung

- Reibung in der Lagerung
- Reibung zwischen Scherkopf und Scherfolie bei hoher Anpreßkraft im Gebrauch
- notwendige Arbeiten zum Schneiden der Barthaare

bei Geräten eines Typs und maximaler Beanspruchung aus dem Gebrauch annähernd gleich sind, so mußten Abweichungen in der Qualitätslage der Serie auf Unterschiede der Hauptdämpfungsglieder, der Schwingfedern, zurückgeführt werden.

Dabei wirken folgende Hauptfaktoren:

- Einbaulage der Schwingfeder, bestimmt durch den Federauslauf
- Federkraft in Abhängigkeit von der Einbaulänge
- Arbeitsvermögen der Schwingfeder.

Aufgetretene Abweichungen in der Qualitätslage der Serienfertigung konnten letztlich auf Unterschiede im dynamischen Verhalten der Schwingfedern, auf ihr unterschiedliches Arbeitsvermögen unter Betriebsbedingungen, zurückgeführt werden. Eine Überarbeitung der konstruktiven Vorgaben mit Einengung der zulässigen Toleranzen konnte keine höhere Sicherheit in den Prozeß bringen, da immer nur die geometrischen Abmessungen als Fertigungs- und Kontrollgrundlage und nicht die funktionsbestimmende Größe, ihr Arbeitsvermögen definiert wurde.

Im Ergebnis der Untersuchungen und Betrachtungen mußte schließlich geschlußfolgert werden, daß

- alle Schwingfedern, die eine optimale Funktion des Antriebes gewährleisten, den konstruktiven Vorgaben entsprechen
- nicht alle nach den konstruktiven Vorgaben unter Ausnutzung zulässiger Toleranzen produzierten Schwingfedern die optimale Funktion des Antriebes gewährleisten.

Da mit den verfügbaren Federstahldrähten und Fertigungsvoraussetzungen engere Toleranzen nicht realisierbar sind, mußte der notwendige Zuwachs an Stabilität für die Serienfertigung durch folgende Maßnahmen gesichert werden:

1. Zum Beginn jeder Federfertigung erfolgt eine Überprüfung der in der Fertigung befindlichen Charge auf Einhaltung der geometrischen Abmessungen und Erreichung des erforderlichen Arbeitsvermögens, bestimmt durch die Kraft $P1$ und die Federsteifigkeit C.
2. Alle produzierten Federn werden durch den Produzenten 100 %ig auf die Einhaltung der Federkraft $P1$ geprüft.
3. Die Einsatzfähigkeit von Schwingfedern einer neuen Charge wird an einer repräsentativen Anzahl Elektrorasierern, die unter Serienbedingungen gefertigt werden, überprüft.

Die Einschleusung in die Fertigung erfolgt nur auf der Grundlage einer Produktionsfreigabe.

2.3. Vibrationsverringerung

Durch den Schwingankerantrieb werden funktionsbedingte Schwingungen des Gehäuses angeregt. Diese Schwingungen sind beim „bebo sher 2005", aufgrund der geringeren Gesamtmasse des Gerätes, größer als beim Vorgängertyp „bebo sher 2003" und können beim Gebrauch als störend empfunden werden.

Um den Gebrauchswert und die Konkurrenzfähigkeit von neuen und weiterentwickelten Geräten ständig zu erhöhen, wurden gemeinsam mit Mitarbeitern der TH Ilmenau Untersuchungen zur Verringerung der Gerätevibrationen durchgeführt [3].

Ziel der Untersuchungen war es, auf der Basis eines dynamischen Modells den Einfluß der Masse und der Massenverteilungen der Teilsysteme im Gerät auf die Gehäuseschwingungen zu analysieren und Maßnahmen zur Verbesserung des Vibrationsverhaltens aufzuzeigen. Das dynamische Modell von Elektrorasierern mit Schwingankerantrieb wird durch ein System zweier starrer Körper beschrieben, die durch ein Gelenk verbunden sind und zwischen denen federelastische und elektromagnetische Kräfte wirken.

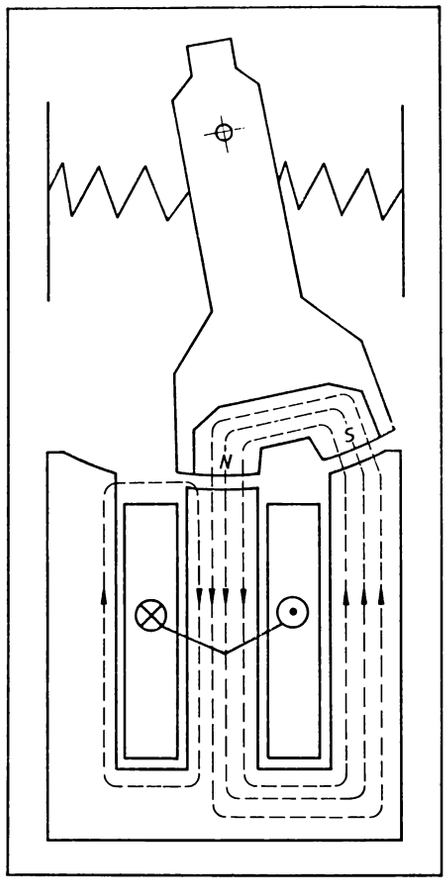


Bild 4
Schwinganker mit einfacher Frequenz der angelegten Spannung und Permanentmagnet im Schwinganker

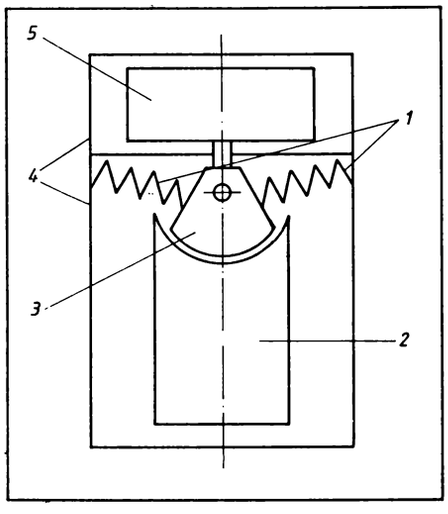


Bild 5
Modell
1 Feder, 2 Elektromagnetische Anregung,
3 Schwinganker,
4 Gehäusebaugruppe,
5 Scherkopf

Bild 5 zeigt eine vereinfachte Darstellung des dynamischen Modells.
Die funktionsnotwendigen Schwingungen des Scherkopfes gegenüber der Gehäusebaugruppe werden durch die Federn und die elektromagnetische Anregung bestimmt. Durch das experimentell bestätigte Modell ist es möglich, neuartige Lösungen theoretisch vorzubereiten. Das ist vor allem mit Hilfe von mathematischen Optimierungsgleichungen möglich, hat jedoch eine Veränderung des konstruktiven Aufbaus und des Funktionsprinzips zur Folge.
Die Untersuchungsergebnisse zeigten weiterhin, daß die Optimierung der Masseverteilung und der Ausgleich von Massenkräften wesentliche Maßnahmen zur Vibrationsverringerung beim „bebo sher 2005" darstellen.

3. Entwicklungszielstellungen

Auf den erreichten Ergebnissen aufbauend ist eine ständige Weiterentwicklung der schwingankerbetriebenen Rasierapparate, die zu höheren Gebrauchswerten, höherer Zuverlässigkeit und verbesserter Handhabung führen sollen, notwendig und in permanenter Bearbeitung. Dabei liegt gegenwärtig ein Hauptschwerpunkt, der in Zusammenarbeit mit der TH Ilmenau gelöst werden soll, in der weiteren Verringerung der Gehäuseschwingungen des „bebo sher 2005". Vorschläge dazu liegen in Form des Untersuchungsberichts [3] vor.
Eine weitere Entwicklungszielstellung wird in einem netzunabhängig betreibbaren Rasierapparat auf der Basis Gleichstrommikromotorantrieb und Energieversorgung über nachladbare Nickel-Kadmium-Akkumulatoren gesehen, der aufgrund seiner Spezifik und der universellen Einsetzbarkeit neue Käuferkreise erschließen soll. Da in einem solchen Gerät mikroelektronische Baugruppen in größerem Umfang zum Einsatz kommen müssen, ist eine noch breitere Kooperation bei der Entwicklung und Fertigung der benötigten Bauteile als bisher erforderlich. Erste erfolgversprechende Ansätze wurden dazu bereits gemacht. Ein weiterer Hauptschwerpunkt der Entwicklung für die nächsten Jahre ist die Entwicklung von „Gerätefamilien", die auf der Basis eines Grundgerätes eine größere Variabilität im Angebot auf der Grundlage standardisierter Bauteile und Baugruppen und damit eine hohe Wiederverwendbarkeit von erreichten Lösungen sowie eine Minimierung des Aufwandes, z.B. an Werkzeugen, Vorrichtungen, Prüfmitteln usw. ermöglicht.

4. Zusammenfassung

Die Realisierung der Erzeugnispalette elektrischer Rasierapparate durch den VEB Bergmann-Borsig mit den dargelegten Gebrauchswerten, den erreichten Stückzahlen und seit Jahren mit dem Gütezeichen „Q" versehen, ist das Ergebnis einer kontinuierlichen Konsumgüterpolitik im Betrieb. Die Konsumgüterproduktion existiert gleichberechtigt zur Hauptproduktion und ist vor allem in der Planposition NSW-Export eine wichtige Größe.
Die bisher erreichten Ergebnisse waren nur möglich, weil der Bereich Konsumgüter über eigene Kapazitäten auf den Gebieten Forschung und Entwicklung, Konstruktion, Technologie, Materialwirtschaft, Kundendienst und Produktion verfügt, die im Bedarfsfall durch sozialistische Gemeinschaftsarbeit innerhalb des Betriebes, aber auch durch Zusammenarbeit mit außerbetrieblichen Partnern in Hochschulen, wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und anderen Betrieben verstärkt wurden und werden. Gerade die in Vorbereitung befindlichen Entwicklungsaufgaben heben die Notwendigkeit der Gemeinschaftsarbeit in noch stärkerem Maße hervor.

Literatur

[1] Laborbericht des Zentralinstituts für Festkörperphysik und Werkstofforschung der AdW (unveröffentlicht)
[2] *Oesingmann, D.*: Pendelschwinganker als Antrieb von Haarschneidgeräten (unveröffentlicht)
[3] *Tersch, H.*, u.a.: Vibrationsuntersuchungen am Trockenrasierer „bebo sher 2005" (unveröffentlicht)
[4] *Tümmler, N.*, u.a.: Dokumentation für ein integrierbares Ladegerät (unveröffentlicht)

EA 6018

● **Ein Verfahren,** um die spröden keramischen Hochtemperatur-Supraleiter elastischer und damit leichter formbar zu machen, wurde am Massachusetts Institute of Technology in Boston entwickelt. Bei dem neuen Verfahren wird eine Legierung aus den Supraleitersubstanzen und einem Edelmetall, z.B. Silber, erzeugt, die dann bei hoher Temperatur erhärtet. Bei den entstehenden Verbindungen sind supraleitendes Material und Metall miteinander verflochten, wobei sowohl die supraleitenden Eigenschaften der Keramik als auch die Elastizität des Metalls erhalten bleiben. Wie entsprechende Versuche zeigten, beeinflußt die Metallbeimengung Sprungtemperatur und Stromtragfähigkeit nur wenig. Man kann mit diesem Verfahren alle bekannten Supraleiter mit einem Edelmetall verbinden. Die entstehenden Legierungen lassen sich vielfältig formen und über ihren Edelmetallgehalt mit unterschiedlichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften ausstatten. (ADN/EL)

● **Ein Personalcomputer** mit optischer Speichertechnik zur Verwaltung der Daten ist kürzlich in den USA vorgestellt worden. Wegen ihrer größeren Kapazität eignen sich optische Speicherplatten vor allem für die Arbeit mit großen Datenmengen. Auf der jetzt entwickelten neuartigen Platte lassen sich 256 Mbyte unterbringen. Das ist rund das Zehnfache der Speicherkapazität der heute in Personalcomputern eingesetzten Festplatten. Allerdings dauert bei dem neuen Speicher das Abrufen der Informationen etwa viermal so lange wie mit herkömmlicher Technik.
(ADN/EL)

cigré – 32. Session (Fortsetzung)

Zuverlässigkeitsorientierte Bewertung der Parameter zur Bemessung von Freileitungsschutzstrecken

F. Reincke, KDT, Berlin

Diskussionsbeitrag im SC 33

Die Frage 2 des Special report des SC 33 bezieht sich auf die Berechnung des mittleren Ereignisabstandes von Störungen in Anlagen der Elektroenergieübertragung infolge Blitzeinschlag, auf die anhand der zuverlässigkeitsorientierten Bewertung der Parameter zur Bemessung von Freileitungsschutzstrecken eingegangen werden soll.

Zunächst soll darauf hingewiesen werden, daß einpolige mathematische Modelle eine für praktische Belange hinreichende Genauigkeit liefern.

Freileitungsschutzstrecken sind Freileitungsabschnitte, in denen Blitzeinschläge in die Hauptleiter durch kleine Einbauwinkel und rückwärtige Überschläge durch kleine Erdungsimpedanzen der Maste weitgehend vermieden werden. Die Länge der Freileitungsschutzstrecke bewirkt, daß Reflexionen durch mögliche Blitzeinschläge außerhalb derselben keinen Beitrag zum Maximalwert der Blitzüberspannungen in den angeschlossenen Umspannwerken liefern. Das heißt also, Freileitungsschutzstrecken haben hinsichtlich der Blitzüberspannungsbeanspruchungen eine primäre Schutzfunktion für die Betriebsmittel in den Umspannwerken.

Um zu einer zuverlässigkeitsorientierten Bewertung der Parameter zur Bemessung dieser Freileitungsschutzstrecken für den Blitzüberspannungsschutz der nachgeschalteten Anlagen zu gelangen, werden — wie im Bild 1 erkennbar — die Einschlagraten für Hauptleiter-, Erdseil- und Masteinschläge bestimmt und auf der Grundlage eines einpoligen mathematischen Modells Blitzüberspannungsberechnungen durchgeführt, die unter Einbeziehung der Einschlagraten letztlich zu Gefährdungsraten für die Betriebsmittel der Anlagen führen. Daran schließt sich ein Vergleich der berechneten Gefährdungsraten mit einer aus Betriebserfahrungen und Störungsstatistiken abgeleiteten zulässigen Gefährdungsrate an. Veränderungen in den Parametern zur Bemessung der Freileitungsschutzstrecken können in den Blitzüberspannungsberechnungen berücksichtigt und damit in ihrer Wirkung auf die Gefährdungsraten zuverlässigkeitsorientiert bewertet werden, d.h., es ist beispielsweise möglich, ungünstige Erdungsverhältnisse durch erhöhte Anforderungen an die Mastkopfgeometrie (Einbauwinkel) bei Einhaltung der zulässigen Gefährdungsrate zu kompensieren. Die einpoligen Blitzüberspannungsberechnungen werden mit einem Programmkomplex durchgeführt, der auf 16-bit-IBM-kompatiblen Personalcomputern mit Festplattenspeicher unter dem Betriebssystem MSDOS nutzbar ist. Das Berechnungsprogramm ist für eine maximale Netzkonfiguration,

- Anzahl der Knotenpunkte $\leqq 100$
- Anzahl der Leitungen $\leqq 100$
- Anzahl der Leitungen je Knotenpunkt $\leqq 5$
- Anzahl der Überspannungsableiter $\leqq 20$
- Anzahl der Transformatoren $\leqq 10$,

dimensioniert und verfügt neben einer dialoggeführten Dateneingabe und -korrektur auch über die Möglichkeit, die Berechnungsergebnisse in Form einer grafischen Darstellung (Kurvenzug) auszugeben.

EA 3001

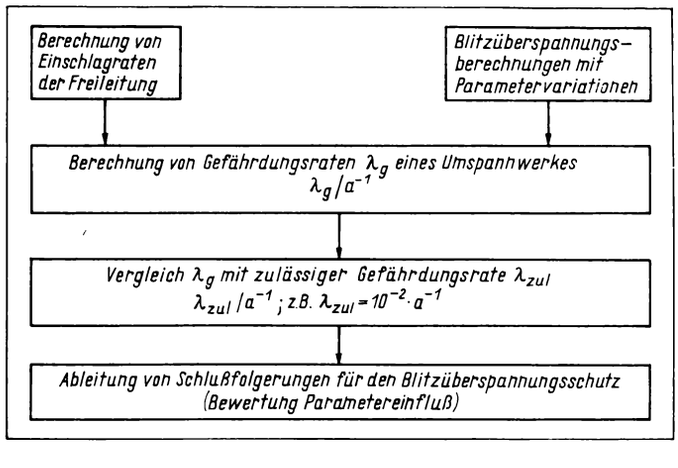


Bild 1
Modell zur zuverlässigkeitsorientierten Bewertung der Parameter von Freileitungsschutzstrecken

Richtlinie zur Kurzschlußstromstochastik

L. Pscherer; F. Berger, KDT, Berlin

Diskussionsbeitrag im SC 38

In der DDR werden seit etwa 15 Jahren probabilistische Methoden erfolgreich zur Bewertung hoher Kurzschlußstrombeanspruchungen angewendet.

Basis der Bewertung ist das Grundprinzip aller probabilistischen Methoden [1]:

$$p_{ue}(y - x < 0) = \int_{x=-\infty}^{\infty} f_x(x)\, F_y(y)\, dx \quad (1)$$

mit

F_x, f_x Verteilungs- bzw. Dichtefunktion der Beanspruchungsgröße x,

F_y, f_y Verteilungs- bzw. Dichtefunktion der Festigkeitsgröße y.

Da es zur Zeit nicht möglich ist, Verteilungen der Kurzschlußstromfestigkeit anzugeben, wird die Festigkeit vereinfacht als einpunktverteilter Nennstehwert angenommen. Damit dient die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung der Festigkeitsnennparameter zur Bewertung der möglichen Beanspruchungen durch Kurzschlußströme.

Die Dichte- bzw. Verteilungsfunktionen der Beanspruchungsgrößen werden mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation [2] oder, in Analogie zum Beitrag 38-11, analytischer Beziehungen berechnet. Die Dichtefunktion des dreipoligen Anfangskurzschlußwechselstromes $I''_{k(3)}$ bei einem entlang einer Freileitung wandernden Fehlerort hat bei der analytischen Bestimmung z.B. folgende Form [3]:

$$f(I''_{k(3)}) = f(z)\,\frac{1 \cdot 1\, U_N}{\sqrt{3}\, I''_{k(3)}}. \quad (2)$$

Sowohl Monte-Carlo-Simulation als auch analytische Verfahren liefern zwar Ergebnisse von hoher Genauigkeit, sind aber stark von den Eingangsdaten abhängig und relativ aufwendig.

Für ingenieurtechnische Anwendungen, z.B. zur schnellen Beurteilung der Beanspruchungen bei Sonderschaltzuständen, ist es notwendig, über vereinfachte, ingenieurmäßig handhabbare Berechnungsverfahren zu verfügen, die für Abschätzungen eine hinreichende, oft auch darüber hinausgehende Genauigkeit haben.

Es wurde ein Verfahren entwickelt, daß das Auftreten hoher, die Nennparameter überschreitender Kurzschlußstrombeanspruchungen in sie bestimmende Einzelereignisse zerlegt und diese über ein mathematisch-logisches Modell verknüpft.

Um im Kurzschlußfall zu einer Überschreitung der Gerätenennparameter zu führen, müssen die Ereignisse (A) und (B) und mindestens eines der Ereignisse (C) oder (D) oder (E) gleichzeitig auftreten. Für die Überschreitung der Nennparameter eines Leistungsschalters im Kurzschlußfall ergibt sich damit folgendes mathematisch-logisches Modell (Bild 1). Das mathematisch-logische Modell nach Bild 1 läßt sich durch die vereinfachte Wahrscheinlichkeitsgleichung

$$p(LS) = p(A)\, p(B)\, [p(C) + p(D) + p(E)] \quad (3)$$

beschreiben.

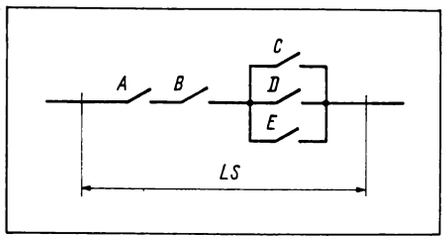


Bild 1. Mathematisch-logisches Modell der Nennparameterüberschreitung eines Leistungsschalters im Kurzschlußfall
A kritischer Schaltzustand, *B* Fehler im kritischen Fehlerentfernungsbereich, *C* kritischer Fehlereintrittswinkel, *D* kritische Fehlerdauer, *E* kritischer Ausschaltstrom

Die Erprobung der mathematisch-logischen Modellierung hat sich an verschiedenen Anwendungsfällen des Übertragungsnetzes bewährt.
Die Bearbeitung unterschiedlicher Anwendungsbeispiele [2] zeigte aber auch, daß für eine breite Anwendung probabilistischer Methoden zur Anlagen- und Gerätebemessung gegenüber Kurzschlußstrombeanspruchungen einfache einheitliche Verfahren fehlten.
Durch den gegenüber standardisierten Verfahren hohen Aufwand zur Informationsbeschaffung und Entscheidungsfindung nutzten Betriebsingenieure probabilistische Verfahren kaum.
Deshalb wurde eine Richtlinie [4] zur probabilistischen Bestimmung und Bewertung von Kurzschlußstrombeanspruchungen im Nennparametergrenzbereich geschaffen. In ihr sind die einzelnen Arbeitsschritte in standardähnlicher Form vereinfacht und für das 380/220-kV-Netz quantifiziert.
Um Anwendungsbreite und Rechengenauigkeit zu erhöhen, wurde weiter ein entsprechendes Programmpaket für Büro- und Personalcomputer geschaffen. Damit besteht die Möglichkeit, notwendige Eingangsdaten (z.B. Gerätenennparameter, Parameter der Störungsstatistik) bei der Problembearbeitung über Dateien zur Verfügung zu stellen, so daß der größte Teil der aufwendigen Informationsbeschaffung entfällt.
Damit werden bei der Untersuchung von hohen Kurzschlußstrombeanspruchungen folgende Schritte abgearbeitet [4]:

1. Berechnung der beanspruchenden Kurzschlußströme am Einbauort der zu bewertenden Geräte und Vergleich mit den Gerätenennparametern.

Basis des Vergleichs ist das Überschreitungsmaß *ue*.

$$ue = \frac{\text{beanspruchender Kurzschlußstrom}}{\text{Nennkurzschlußstrom}}. \qquad (4)$$

Bei $ue \leqq 1$ sind die Geräte bzw. die Anlage kurzschlußfest. Bei $ue > 1$ kann eine Überschreitung der Kurzschlußstromnennparameter auftreten, und es wird mit den folgenden Teilschritten überprüft, ob sie zugelassen werden kann oder ob eine Kurzschlußfestmachung erfolgen muß.

2. Bestimmung der Wahrscheinlichkeit einer Nennparameterüberschreitung der Geräte bzw. der Anlage.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit p_{ue} wird mit Hilfe des mathematisch-logischen Modells bestimmt.

Die Angabe der Wahrscheinlichkeit von Nennparameterüberschreitungen ermöglicht im Vergleich zu den Ausfallwahrscheinlichkeiten durch Alterung, Verschleiß usw. eine Beurteilung des Gefährdungsgrades einer Anlage.

3. Bewertung der technisch-ökonomischen Folgen der einzelnen Entscheidungsmöglichkeiten.

Bei Weiterbetriebsentscheidungen in Anlagen, in denen Nennparameterüberschreitungen auftreten könnten, ist zur Erhöhung der Entscheidungssicherheit eine technisch-ökonomische Bewertung der Folgen einer solchen Vorgehensweise anzuschließen. Hierzu werden die Kosten bei Fehlereintritt zu den Aufwendungen zur Fehlerverhütung (Kurzschlußfestmachung) in Relation gesetzt.

4. Bewertung der Personengefährdung (nur bei einer Entscheidung zum Betrieb nichtkurzschlußfester Geräte notwendig).

Eine Personengefährdung durch eine Nennparameterüberschreitung entsteht nur, wenn der Kurzschlußeintritt, der die Nennparameterüberschreitung zur Folge haben kann, mit einer zeitgleichen Anwesenheit von Personen (z.B. Wartungs- und Bedienpersonal) einhergeht. Die Wahrscheinlichkeit hierfür wird vereinfacht ereignisorientiert nach [5] bestimmt. Jeder Bearbeitungsschritt endet mit einem konkreten Entscheidungsvorschlag. Sowohl mit der Richtlinie als auch mit dem Programmpaket liegen für den Betriebsingenieur Entscheidungshilfen bei der Suche nach optimalen Geräteausrüstungen gegenüber Kurzschlußstrombeanspruchungen vor.

Literatur

[1] *Stegemann, G.; Berger, F.:* Stochastic determination and evaluation concerning loads of Short-circuit in electric energy transmission installations. CIGRE-Symposium „High Currents". Brüssel (1985), Paper 310-02
[2] *Stegemann, G.; Berger, F.:* Probabilistic Methods to Electric Power Systems. Proceedings of the First International Symposium. Toronto, Canada, 11 – 13 July 1986
[3] *Pscherer, L.; Beyermann, U.:* Verfahren zur Ermittlung charakteristischer Kurzschlußstromgrößen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 5, S. 246 – 248
[4] *Pscherer, L.; Stegemann, G.:* Probability-orientated evaluation of circuit breaker stresses caused by short circuit currents. Vortrag zum Internationalen Symposium der Technischen Hochschule Gliwice (Polen 1986)
[5] *Bauer, H.:* Zur Berechnung der Gefährdung infolge teilweiser Gleichzeitigkeit von Fehler und Bereitschaft. ELEKTRIE, Berlin 32 (1978) 5, S. 234 – 240

EA 3000

Instandhaltungsarbeiten an Starkstromfreileitungen

E. Schmidtchen, KDT, Berlin

Diskussionsbeitrag zum Spezialreport 22.00, Frage 19

Ein sicherlich weltweites Problem der Betreiber von Starkstromfreileitungen ist die Frage, nach welcher Methode die Instandhaltungsarbeiten an diesen Anlagen durchgeführt werden sollen. Entscheidet sich der Betreiber für eine betonte Niedrig-Kosten-Bauweise, dann sind in den meisten Fällen gegenwärtig die Instandhaltungsarbeiten nur ausführbar, wenn der entsprechende Stromkreis ausgeschaltet wird. Eine ausgeschaltete Leitung beeinflußt aber die Ökonomie der Übertragung negativ. Deshalb werden, insbesondere für Freileitungen mit Nennspannungen von 220 und 380 kV, in der DDR seit mehr als 10 Jahren Konstruktionen angewendet, die ein Arbeiten unter Spannung ermöglichen. Dafür mußten allerdings Kompromisse hinsichtlich der Baukosten eingegangen werden.
Um eine Minimierung der Kosten für künftige Leitungsneubauten und auch bessere Bedingungen für Arbeiten unter Spannung an vorhandenen Leitungen zu erreichen, wurden die gültigen Sicherheitsabstände für das Arbeiten unter Spannung einer kritischen Untersuchung unterzogen. Dabei wurde festgestellt, daß bei einem wesentlichen Faktor, der die Größe des Sicherheitsabstandes bestimmt, — es ist die Schaltüberspannung —, Reserven vorhanden sind.
Mit Hilfe eines speziell angepaßten Rechenprogramms wurden diejenigen Schaltfälle bestimmt, bei denen die höchsten Schaltüberspannungen auftreten, und es wurden deren Größe und Verteilungsfunktion ermittelt. Diese so ermittelten Schaltüberspannungen stimmen sehr gut mit Meßwerten überein, die unter praktischen Bedingungen festgestellt wurden.
Mit Hilfe der so gewonnenen, im Netz real auftretenden Schaltüberspannungen wurden Sicherheitsabstände errechnet und im Experiment ermittelt.
Somit stehen physikalisch begründete, auf das Hochspannungsnetz der DDR zugeschnittene Luftdurchschlagstrecken (reine Isolierstrecken in Luft) und Luftüberschlagstrecken (Isolierstrecken entlang praktischer fester Isolierungen) als Sicherheitsabstände, sowohl für die Anordnung Phase — Phase als auch für Phase — Erde, zur Verfügung.
Großer Wert wurde darauf gelegt, diese Sicherheitsabstände hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit und ihrer „eigenen Sicherheit" zu bewerten. Für diesen Arbeitsschritt wurden häufig durchzuführende Arbeiten z.B. dahingehend untersucht, wie oft sie jährlich angewendet werden, wieviel Monteure den festgelegten Sicherheitsabstand in Anspruch nehmen müssen und für welche Dauer das jeweils erforderlich ist.
Mit Hilfe von Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung wurde das Eintreten eines Ereignisses ermittelt, und im Ergebnis wurden neue, reduzierte Sicherheitsabstände zur Anwendung vorgeschlagen.

Dadurch können

— bei einer Reihe von Technologien solche Teilarbeitsschritte, bei denen die reduzierten Sicherheitsabstände, in Anspruch genommen werden, einfacher gestaltet werden als zuvor, da mit den reduzierten Sicherheitsabständen für den Technologen und den Monteur ein größerer Handlungsspielraum entstanden ist
— einige Arbeiten, insbesondere an älteren Mastkonstruktionen, jetzt erst durchgeführt werden.

EA 2997

Einfluß des Isolatordurchmessers bei Fremdschichtbelastung

H. Streubel, KDT, Hermsdorf

Diskussionsbeitrag im SC 33

Die Fremdschicht-Stehspannung von Isolatoren nimmt kontinuierlich mit dem Durchmesser sowohl bei Gleichspannung als auch Wechselspannung ab (Bild 1), wenn die Kriechüberschlagstrecke konstant gehalten wird.

Die Stehspannung ist proportional

$$U_{St}^{F} \sim \frac{1}{D^{0,427}} \cdots \frac{1}{D^{0,52}},$$

wenn die äquivalente Salzablagerungsdichte (ESDD) als Parameter der Verschmutzung gewählt wird. Bei Benutzung der Schichtleitfähigkeit ist die Stehspannung proportional (Bild 2)

$$U_{St}^{F} \sim \frac{1}{D^{0,32}} \cdots \frac{1}{D^{0,38}} \cdot \quad (1)$$

Mit diesem Verhalten geht die Verringerung der Schmutzablagerung infolge der Verringerung des Windwiderstandsbeiwertes der Isolatoren mit steigendem Durchmesser einher (Bild 3) [2]. Bei der gleichen Kriechüberschlagstrecke unter gleichen natürlichen Verschmutzungsbedingungen sinkt somit die Schichtleitfähigkeit der sich ablagernden Fremdschicht im Verhältnis

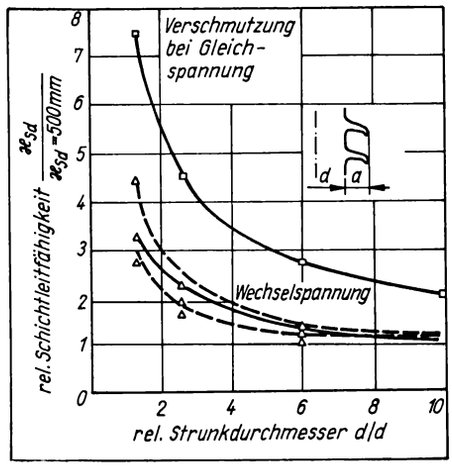


Bild 3

$$\varkappa_s \sim \frac{1}{D^{0,596}} \text{ für Wechselspannung,}$$

$$\varkappa_s \sim \frac{1}{D^{0,576}} \text{ für Gleichspannung.}$$

Um die Fremdschicht-Stehspannung mit steigendem Isolatordurchmesser unter natürlichen Bedingungen konstant zu halten, muß die Kriechüberschlagstrecke wie folgt erhöht werden [3]:

$$\ddot{U}_k \sim D^{0,14} \cdots D^{0,1}.$$

Eine Näherung ist der Wert K_D in IEC 815 [4].

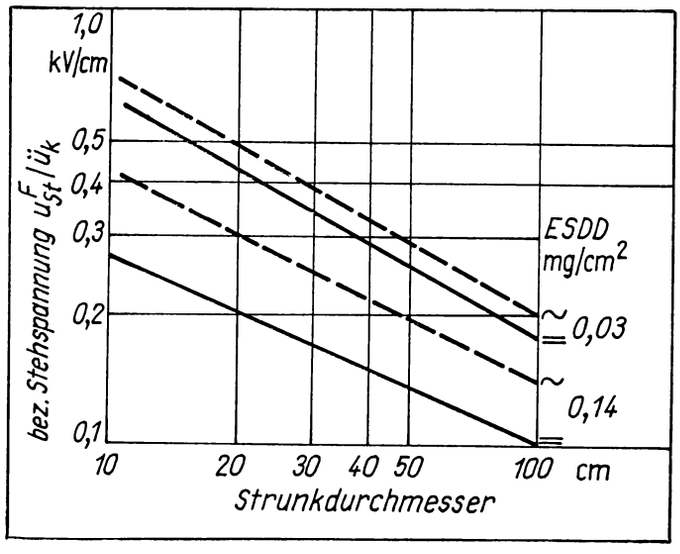


Bild 1

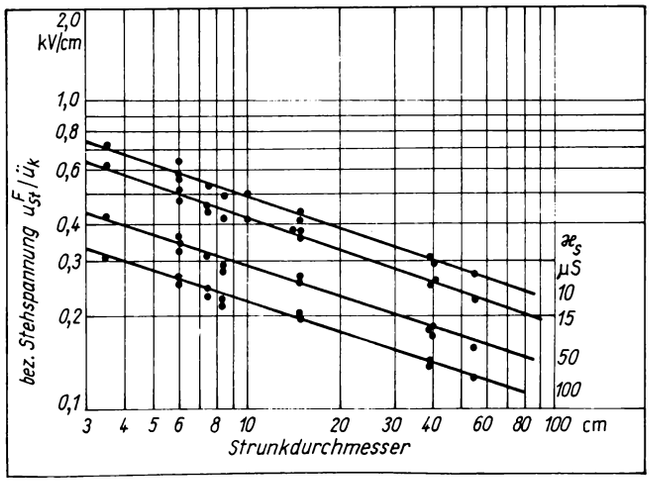


Bild 2

Literatur

[1] *Streubel, H.:* Die Fremdschichtüberschlagspannung von Isolatoren mit unterschiedlichem Durchmesser. Hermsdorfer Techn. Mitt. 23 (1983) 63 S. 2005 bis 2007

[2] *Streubel, H.:* Insulators für HVDC. Transmission Lines IEEE/CSEE. Joint Conference in China 17. bis 22. 10. 1987, S. 341–346

[3] TGL 8678/03: Freiluftisolierungen unter Fremdschichteinfluß in elektrotechnischen Anlagen über 1 kV Wechselspannung. Entwurf 10/87

[4] IEC 815: Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions. 1. Ausgabe 1986

EA 2967

Integration leittechnischer Aufgaben für Umspannwerke in einem Mikrorechnersystem

B. Buchholz, KDT, Dresden

Diskussionsbeitrag im SC 23

Der Integrationsgrad ist eine der am meisten interessierenden Fragen bei der Entwicklung neuer digitaler Systeme für Steuerung, Überwachung, Messung und Automatisierung in Umspannwerken, der zwei prinzipielle Aspekte enthält:

— Implementierung aller für Fern- und Ortssteuerung des Umspannwerkes erforderlichen Funktionen, einschließlich Schutz, in ein einheitliches technisches System
— Zentralisation des Hardwareaufbaus in zusammengefaßter Anlage.

Die wichtigsten Faktoren bei der Wahl optimaler Integration sind Größe und Hierarchieebene des Umspannwerkes. Aus diesem Grunde wurden in der DDR zwei unterschiedliche Entwicklungswege zur Implementierung solcher Systeme beschritten:

— dezentralisierte Systeme für große Umspannwerke auf Übertragungsebene
— zentralisierte Systeme für kleine unbesetzte 110-kV-Verteilungsumspannwerke.

Das im Institut für Energieversorgung unter Nutzung von Standardhardware entwickelte zentralisierte System weist einen sehr hohen Integrationsgrad auf.

Nach langjähriger Erprobung, sorgfältiger Abnahmeprüfung, erfolgreicher Einführung und positiven Betriebserfahrungen ist dieses System gegenwärtig Serienlösung des Errichters Energiebau für kleine 110-kV-UW.

Folgende Funktionen sind einbezogen:

— Fern- und Vorortsteuerung von Leistungsschaltern, Trennern, Transformatorstufenschaltern und Erdschlußlöschspulen
— Überwachung von Schaltfeldern und wichtigen elektrischen Größen auf Bildschirm
— Ereignis- und Datenaufzeichnung
— automatische Schaltfolgen:
  • auf Schaltbefehl
  • bei Versorgungsausfall
  • nach Fehlern
— automatische Frequenzentlastung
— Spannungsregelung in MS-Netzen

— Verstimmungsgradregelung
— kompletter Erdschlußschutz
— dreipoliger Maximalstromzeitschutz einschließlich MS-Sammelschienenschutz
— Mensch-Maschine-Kommunikation mit Tastatur und zwei Bildschirmen für Dialogführung und Informationsausgabe gleichartig für Fern- und Vorortbedienung.

Diese Funktionen sind in Doppelrechnersystemen enthalten, von denen jedes für einen kompletten Bereich des Umspannwerkes zuständig ist (maximal 10 110-kV-Schaltfelder, 30 MS-Schaltfelder).
Ein hoher Grad an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit wurde gesichert durch:

— vielfältige Auto- und Systemdiagnose
— hot stand by des redundanten Rechners, der die gleichen Funktionen führt wie der Hauptrechner
— automatische Behandlung eingetretener Fehler durch Software
— Rechnerkopplung über schnelles intelligentes Interface bei 500 kBd
— Analogwertverarbeitung — insbesondere für Schutzfunktionen — auf speziellen Koprozessorkarten.

Diese Prämissen ermöglichen die Verarbeitung von maximal 60 Echtzeitanalogsignalen für Schutzzwecke integriert in einer Rechnereinheit. Bei dieser erstmals praktizierten Integration von mehreren logischen Schutzgeräten in einer Einheit wurden gewählt:

— Schutzfunktionen, die Betriebsprobleme betreffen, wie
Erdschlußschutz oder Überlastschutz
— der Reserveschutz von Abzweigen, die über einen autonomen Hauptschutz verfügen.

Die hohe Integration von Funktionen und Hardware führte nicht nur zu wesentlichen Kosteneinsparungen, sondern auch zu bedeutenden Vorteilen bei der Bedienung der unbesetzten Umspannwerke aus der Netzleitstelle, da die Fernbedienung über Rechnerkopplung mit internen intelligenten Interfaces zu 200 bis 1200 Bd organisiert ist.

Die Fernsteuerung schließt die Parametrierung aller digital realisierten Schutz-, Regler- und Automatikfunktionen ein. Es ist nunmehr möglich, in der Netzleitstelle einen schnellen Überblick über alle Einstellwerte zu erhalten und über eine Paßwortsicherung die Parameter über Tastatur und Dialogbildschirm zu verändern.
Funktionsprüfungen werden durch das Rechnersystem gestützt und können zum Teil auch aus der Netzleitstelle veranlaßt werden. Die umfassende Autodiagnose ermöglicht die schnelle Fernauffindung von Fehlern im Rechnersystem.
Die Betriebserfahrungen zeigen, daß die Übertragung der Ergebnisse der Datenaufzeichnung in die Netzleitstelle bedeutende Unterstützung bei der Fehlersuche im Netz gibt und eine vorbeugende Instandhaltung durch die Analyse flüchtiger Fehler und transienter Vorgänge ermöglicht. Besonders nach Fehlern bietet die Kombination der Fernübertragung mit dem digitalen Schutz eine neue Qualität bei der Senkung von Versorgungsausfällen, da der Störungsablauf im Bildschirmprotokoll mit Ereigniszeitauflösung von 10 ms und aufgezeichneten Strömen jedes Leiters angegeben ist.

Die umfassende Automatisierung von Handlungsabläufen führt ebenso wie die komfortablen Auswahl- und Sortiermöglichkeiten der erforderlichen Informationen zur Entlastung des Personals und zur Erhöhung der Handlungssicherheit. Während der ersten beiden Betriebsjahre des serienmäßigen rechnergestützten Systems in Umspannwerken stellte die Autodiagnose einige Fehler im Rechnersystem fest (Stromversorgung, RAM, ROM). Doch durch die Maßnahmen zur Erhöhung von Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gab es keinerlei Überfunktion und sämtliche implementierten Funktionen waren jederzeit verfügbar. Die Konzeption der hohen Integration bei gleichzeitiger Sicherung von Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit hat sich in der Praxis bewährt.

EA 2913

Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Elektro- und Automatisierungstechnik

In Fortsetzung der Auswertung wichtiger Vorschriften der IEC, ISO bzw. anderer Länder [1] [2] für Weltstandsvergleiche zur schnelleren Entwicklung der Erzeugnisse sollten nachfolgende Publikationen der Jahre 1986/87 [3] bis [6] Beachtung finden.

• IEC 821 (Ausgabe 1987)

„Mikroprozessor Systembus IEC 821"

In IEC 821 wird ein leistungsfähiger Systembus beschrieben, der in der Rückwand eines Baugruppenträgers für Mikroprozessoren angeordnet ist und mit dessen Hilfe der Datentransport, die Verarbeitung und Speicherung vorgenommen wird und deren angeschlossene Steuerbaugruppen in einer angekoppelten Hardware-Anordnung miteinander verbunden sind.
Dieser Parallelbus ermöglicht Einzel- und Blockübertragungszyklen auf einen 32 bit breiten Adreß- und Datenkanal ohne Multiplexbetrieb. Die Übertragung wird durch ein asynchrones Handshake-Protokoll gesteuert. Die Buszuweisung ermöglicht die Anwendung einer Mehrprozessor-Architektur. Durch die Möglichkeit, Interrupt-Befehle auch zwischen einzelnen Modulen auszuführen, ergibt sich eine schnelle Reaktion auf in- und externe Ereignisse. Der mechanische Aufbau von Karten und Kartenadaptern wird gemäß IEC 297 (Abmessungen von Frontplatten und Einschüben) in 19-Zoll-Bauweise vorgenommen. Das neue IEC-System wurde realisiert und standardisiert, um eine Kommunikation zwischen Baugruppen auf dem Systembus zu ermöglichen, ohne den internen Betrieb anderer Baugruppen, die über eine Schnittstelle des IEC-Bus 821 verbunden sind, zu behindern. Die elektrischen und mechanischen Systemeigenschaften, die man benötigt, um Baugruppen zu entwerfen, die zuverlässig und eindeutig mit anderen Systemeinheiten über den Systembus in Verbindung treten können, werden in IEC 821 festgelegt. Ebenso werden die Protokolle, mit denen genauestens die Wechselwirkung zwischen dem Bus und angeschlossenen Baugruppen beschrieben werden, spezifiziert. Mit der neuen IEC-Publikation werden auch Begriffsdefinitionen angeboten, die das System und deren Protokolle beschreiben, um einen breiten Spielraum für die Systementwicklung vorzugeben. So kann der Anwender den Preis und die Leistung seines Konzeptes optimieren, ohne die System-Kompatibilität anzutasten.

• IEC 860 (Ausgabe 1987)

„Warneinrichtungen für Kritikalitätsstörfälle"

Diese Vorschrift wurde von der Arbeitsgruppe des SC 45 B „Instrumentierung für Strahlenschutz" erarbeitet und ist anwendbar für Meßgeräte, die ionisierende Strahlung als Folge eines Kritikalitäts-Störfalls erfassen und daraufhin ein Warnsignal abgeben. Die kennzeichnenden Merkmale eines Kritikalitäts-Störfalls sind extrem rasches Ansprechen, hohe Übersteuerungsfestigkeit und hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich Systemausfall und Sicherheit gegen Fehlalarm und wird durch Auswahl von 2 aus 3 Systemen realisiert. Es wird ein Ansprechvermögen von 300 ms bis zum Einsetzen des Alarms für einen plötzlich einsetzenden Strahlenpegel in der Höhe des 2fachen Nennschwellenwertes verlangt. Ebenso eine Übersteuerungsfestigkeit bis zu 1000 Gy/h gefordert, und es sind weitere allgemeine betriebliche, elektrische, mechanische und sicherheitstechnische Anforderungen an ein Kritikalitätswarnsystem festgelegt, die Prüfbedingungen für die genannten Eigenschaften beschrieben sowie die erforderliche Dokumentation aufgelistet und in Tabellenform dargestellt.

• IEC 911 (Ausgabe 1987)

„Messung zur Überwachung angemessener Kühlung von Druckwasserreaktoren"

Darin sind Anforderungen an eine zusätzliche Instrumentierung zur Messung von Kühlmittelparametern festgelegt, die dann von Interesse sind, wenn unter abnormalen Bedingungen das Kühlmittel in einer oder mehreren Phasen in den Reaktordruckbehälter gelangt. Diese Instrumente dienen der Information über die Kühlmittelzustände und als Entscheidungshilfe für Maßnahmen zur Aufrechterhaltung ausreichender Kühlung des Reaktorkerns. Die Publikation ist unterteilt in:

— Anwendungsbereich und zugehörige Begriffe
— abnormale Betriebsbedingungen bei abgeschaltetem Reaktor (Unterkühlung, Sättigung und Überhitzung)
— Anforderung an die Instrumentierung (Genauigkeit, Einstellzeit, Zuverlässigkeit, Stromversorgung der Meßgeräte) Darstellung der gewonnenen Informationen
— Sicherheitstechnische Zuordnung der Instrumente
— Qualifizierung.

• IEC 534-8-1 (Ausgabe 1986)

„Stellventile für die Prozeßregelung; Teil 8: Geräuschmessungen; Laboratoriumsmessun-

gen von Geräuschen bei gasdurchströmten Stellventilen"

In der IEC-Publikation 534-8 werden Ausrüstungen, Methoden und die Testverfahren beschrieben, um durch Laboratoriumsmessungen den Schalldruckpegel von gasdurchströmten Stellventilen mit angeschlossenen Rohrleitungen zu bestimmen. Eine einheitlich festgelegte Methode zur Messung der abgestrahlten Geräusche ermöglicht den Vergleich von verschiedenen Meßergebnissen zum Vorteil der Hersteller und Anwender.

• IEC 748-3 (Ausgabe 1986)

„*Halbleiterbauelemente; Integrierte Schaltungen; Teil 3: Analoge integrierte Schaltungen*"

Diese Norm enthält für integrierte Schaltungen, die mit Halbleiterbauelementen realisiert werden, alle notwendigen Datenblattangaben, Angaben über Meßverfahren sowie zu Abnahme- und Zuverlässigkeitsprüfungen.
Für folgende Bauelementekategorien sind Festlegungen enthalten:

- Operationsverstärker mit zwei Eingängen und einem Ausgang
- — Audio-, Video- und Vielkanalverstärker für Telekommunikationseinrichtungen
- — NF- und ZF-Verstärker
- — Spannungs- und Stromstabilatorenschaltungen
- — Analogschalter.

• IEC 875-2 (Ausgabe 1986)

„*Optische Lichtwellenleiter; Teil 2: Rahmenspezifikation; Transmissions-Sternkoppler*"

IEC 875, Teil 2, enthält Beschreibungen für passive optische Verzweiger für Einrichtungen zum Aufteilen bzw. Zusammenführen von optischen Signalen auf diskreten Lichtwellenleiter. Der in der Vorbereitung befindliche Teil 3 wird Festlegungen zu Reflexions-Sternkoppler und Wellenlängenmultiplexer enthalten.

• IEC 794-1 (Ausgabe 1987)

„*Lichtwellenleiter-Kabel, Teil 1: Fachgrundspezifikation*"

Diese 2., ergänzte und verbesserte Ausgabe der IEC-Publikation enthält u.a. neue Angaben über Prüfverfahren von Lichtwellenleiter-Kabel in Unterteilung:

- — Prüfverfahren für Abmaße
- — Prüfverfahren für mechanische Eigenschaften mit Dehnungseigenschaften von Kabeln unter Zug, Torsion, Schnalzen (Snatch), Klinken und Wickeln
- — Prüfverfahren für übertragungstechnische und optische Eigenschaften von Kabeln
- — Prüfverfahren für Umwelteigenschaften von Kabeln.

• IEC 793-1 (Ausgabe 1987)

„*Lichtwellenleiter; Teil 1: Fachgrundspezifikation*"

In Ablösung der 1. Ausgabe von 1984 enthält die Norm neue Angaben über Prüfverfahren, die für Lichtwellenleiter erforderlich sind, und ist unterteilt in Prüfverfahren für

- — Abmaße
- — mechanische Eigenschaften
- — die Übertragungsstrecke und optischen Eigenschaften
- — Umweltbedingungen.

• DIN/IEC 52 (Co) 299 (Entwurf August 1987)

„*Gedruckte Schaltungen; Gestaltung und Anwendung von Leiterplatten. Werkstoffe und Oberflächen*"

Die Norm enthält Festlegungen zur Behandlung von Oberflächen auf Leiterplatten, speziell zu nichtmetallischen Überzügen auf Leiterplatten. Sie ist eine Ergänzung zu DIN/IEC 326-3 „Gedruckte Schaltungen; Leiterplatten, Gestaltung und Anwendung von Leiterplatten".
Die Ausführungen über nichtmetallische Überzüge betreffen die Lötbarkeit der Leiterbilder sowie die Brückenbildung zwischen Leitern. Hierbei wird unterschieden zwischen Schutzschichten mit zeitlich begrenzter Wirkung (Erhalt der Lötbarkeit) und dauerhaften Schutzschichten.

• IEC 384-6 (Ausgabe 1987)

„*Festkondensatoren zur Verwendung in Geräten der Elektronik; Teil 6: Rahmenspezifikation; Kunststoffolien von MKC-Kondensatoren*"

Neu in dieser 2. Ausgabe ist ein Kapitel über Angaben, die in den Bauartenspezifikationen zu finden sind sowie über ein Gütesicherungsverfahren. Diese in IEC 384-6 enthaltenen Angaben beziehen sich auf erforderliche Prüfungen, Stückzahlen und zulässige Ausfälle für die Approbation, die Inspektions-Level, AQL-Werte und zulässigen Ausfälle für die laufende Qualitätsüberwachung durch losweise und periodische Prüfungen.

• IEC 191-5 (Ausgabe 1987)

„*Mechanische Norm von Halbleiterbauelementen; Teil 5: Empfehlungen zum automatischen Filmbonden (TAB) von integrierten Schaltungen*"

In dieser Norm werden Verfahren zur automatischen Kontaktierung von Halbleiterbauelementen beschrieben, die auch unter der Bezeichnung automatische Filmbonden (TAB = Tape Automated Bonding) bekannt sind. Benutzt werden normale Filmstreifen 8, 16, 19, 35 mm zur Belegung von vorgeschriebenen Chipfenstern.

• IEC 721-2-4 (Ausgabe 1987)

„*Klassifikation von Umweltbedingungen; Teil 2: Natürliche Einflüsse; Sonnenstrahlung*"

Die IEC-Publikation enthält eine grobe Einteilung der Erdoberfläche in geographische Gebiete mit unterschiedlicher Sonnenstrahlung. Diese Einteilung ermöglicht es, angemessene Grenzwerte der Sonnenstrahlung auszuwählen, wenn es beim Einsatz elektrotechnischer Erzeugnisse und Bauelemente notwendig ist.

• IEC 721-3-4 (Ausgabe 1987)

„*Klassifikation von Umweltbedingungen; Teil 3: Klassen von Einflußgrößen; Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschützt*"

Darin werden Umweltbedingungen festgelegt, denen elektrotechnische Erzeugnisse ausgesetzt sind, die ortsfest an nicht wettergeschützten Einsatzorten betrieben werden. Dazu gehören auch Einsatzorte auf dem Festland und auf dem Meer. Umweltbedingungen, denen Fahrzeuge (auch Schiffe) ausgesetzt sind, sowie die bei Unfällen (z.B. Brand und Kernstrahlungen) auftreten können, sind nicht Bestandteil dieser Vorschrift.

• IEC 364-5-53 (Ausgabe 1987)

„*Elektrotechnische Anlagen von Gebäuden; Teil 5: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel; Kapitel 53: Schalt- und Steuergeräte*"

Diese IEC-Norm enthält nachfolgende Änderungen mit den notwendigen Erläuterungen:

- — Anwendung zusätzlicher Fehlerstrom-(FI)-Schutzeinrichtungen
- — Neutralleiter gilt nicht immer als ausreichender Schutz, deshalb der erweiterte Einsatz des FI-Schutzes als Empfehlung
- — Einsatz des hilfsspannungsabhängigen FI-Schutzes und seine Einsatzbedingungen.

• IEC 185/186 (Ausgaben 1987)

„*Stromwandler/Spannungswandler*"

Die überarbeiteten IEC-Publikationen gelten für Wandler für elektrische Meßgeräte und Schutzeinrichtungen, die im Frequenzbereich von 15 bis 100 Hz arbeiten und die mit separaten Wicklungen ausgestattet sind. Die IEC 186 ist unterteilt in

- — generelle Anforderungen an alle Spannungswandler
- — Forderungen an einphasige Meßwandler
- — zusätzliche Anforderungen an einphasige Schutzwandler
- — zusätzliche Anforderungen an kapazitive Spannungswandler.

Der Aufbau der IEC 185 ist ähnlich dem der IEC 186. Unterschiede sind gegeben bei den dielektrischen Prüfungen, z.B. durch Schaltvorgänge hervorgerufene Kurzzeit-Überspannungen für Wandler über 300 kV, sowie bei der Einführung einer neuen Prüfmethode mit niedriger Prüfspannung bei längerer Prüfdauer und speziellen Teilentladungsmessungen.

• IEC 146-4 (Ausgabe September 1986)

„*Halbleiter-Stromrichter; Teil 4: Verfahren zur Festlegung des Betriebsverhaltens und der Prüfanforderungen von unterbrechungsfreien Stromversorgungssystemen (USV)*"

In dieser IEC-Publikation sind Festlegungen zu Anlagen für die unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Halbleiter-Stromrichtern und mit Energiespeichern (Akkumulatorenbatterien) in Gleichstromzwischenkreisen erfaßt. Die Vorschrift enthält

- — Begriffe und deren Erläuterungen
- — Aussagen zur Anlagenkonfiguration und Systembeschreibung
- — Definitionen der normalen und besonderen Betriebsbedingungen
- — Prüfverfahren
- — Kennwerte für die Funkentstörung

und ist auch für andere USV-Anlagen mit anderen technischen Lösungen anwendbar.

• IEC 605-4 (Ausgabe 1986)

„*Prüfung der Zuverlässigkeit von Geräten; Teil 4: Schätzwerte und Vertrauensgrenzen*"

Im Teil 4 der IEC 605 werden rechnerische und grafische Verfahren empfohlen, mit deren Hilfe nach Zuverlässigkeitsprüfungen Schätzwerte und Vertrauensgrenzen von Zuverlässigkeitskenngrößen für Geräte er-

mittelt werden können. Das betrifft hauptsächlich die Kenngrößen Ausfallrate, mittlerer Ausfallabstand (MTBF) und Erfolgsquotient. Die empfohlenen Verfahren sind nicht nur bei besonders durchgeführten Zuverlässigkeitsprüfungen anwendbar, sondern auch während bzw. im Anschluß an Betriebsversuche und im normalen Betrieb. Für den häufig angenommenen Fall der konstanten Ausfallrate wird unterschieden in durch Zeitablauf und durch Ausfallanzahl beendete Prüfung. Die Vertrauensgrenzen werden hierbei mit Hilfe der Chi-Quadrat-Verteilung ermittelt. Tabellen und grafische Verfahren sollen die Auswertung erleichtern, und für den Fall einer über die Zeit nicht konstanten Ausfallrate werden in der Richtlinie Weibull- und Normalverteilung dargestellt. Weiterhin ist die Berechnung des Schätzwertes und der Vertrauensbereich des Erfolgsquotienten enthalten. Der Erfolgsquotient ist als Wahrscheinlichkeit, mit der ein Versuch erfolgreich sein wird, definiert.

• IEC 50 (Ausgaben 1986-87)

„Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch (IEV)"

In den Jahren 1986 und 1987 wurden weitere Kapitel des IEV neu erarbeitet bzw. ergänzt. Dazu gehören:
Abschnitt 603: Netzplanung und Netzführung elektrischer Energie mit Unterteilung der 149 Begriffe in die Bereiche Netzplanung, Berechnung, Stabilität, Netzführung, Netzzuverlässigkeit und wirtschaftliche Optimierung.

• ISO 2382 (Ausgaben 1985-87)

„Datenverarbeitung; Begriffe"

Erschienen sind in den Jahren 1985 bis 1987 die Teile

— 1 über allgemeine Grundbegriffe
— 5 Darstellung von Daten
— 12 Periphere Geräte
— 19 Analog- und Hybridrechentechnik.

Weitere Teile sind z.Z. in Vorbereitung. Dazu gehören:

— 17 Textverarbeitungen
— 24 Robotertechnik
— 25 Lokale Netze.

• IEC 884-1 (Ausgabe 1987)

„Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke; Teil 1: Allgemeine Anforderungen"

Die in der 1. Ausgabe aufgeführten Anforderungen (technische Daten) und durchzuführenden Prüfungen gelten für alle verwendeten Stecker und Steckdosen für Wechselstrom bis 32 A und 440 V für normale Anforderungen. Diese Publikation soll möglichst kurzfristig als (West)-Europäische Norm (EN) eingeführt werden.

• IEC 882 (Ausgabe 1986)

„Vorheizbedingungen für starterlos betriebene röhrenförmige Leuchtstofflampen"

Der Bericht erläutert die Prinzipien für die Vorheizung von starterlos betriebenen Leuchtstofflampen und legt die Bedingungen fest, die von Vorschaltgeräten während des Startvorgangs und eines stabilen Betriebs eingehalten werden müssen, um eine zufriedenstellende Arbeitsweise und optimales Lebensdauerverhalten der Leuchtstofflampen sicherzustellen. Desgleichen sind die unterschiedlichen Bedingungen für Lampen mit hochohmigen bzw. niederohmigen Elektroden beschrieben.

• DIN/VDE 0847 Teil 4 (Ausgabe Januar 1987)

„Meßverfahren zur Beurteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit; Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen"

Es werden im Teil 4 der BRD-Norm Meßverfahren zur Beurteilung der Störfestigkeit von elektrotechnischen Einrichtungen gegenüber gestrahlten Störgrößen angegeben. Um eine notwendige elektromagnetische Verträglichkeit zu erreichen, ist es erforderlich, daß die in Anlagen eingesetzten Geräte einen normierten Störpegel ohne Fehlfunktion ertragen können. Dazu werden Meßverfahren zur Ermittlung der Störfestigkeit gegen magnetische, elektrische und elektromagnetische Felder in verschiedenen Frequenzbereichen angegeben und erläutert.

• DIN/VDE 3546 (Ausgaben März bis August 1987)

„Konstruktive Gestaltung von Prozeßleitwarten"

Diese BRD-Richtlinie gilt für die konstruktive Gestaltung von Prozeßleitwarten für verfahrenstechnische Anlagen. Blatt

— 01 gibt einen Überblick zur Wartengestaltung und über Grundbegriffe der Wartentechnik
— 02 enthält Empfehlungen für die Anwendung bautechnischer Abmaße
— 03 behandelt die Anordnung der für die Prozeßführung benötigten Geräte in Tafeln und Pulten und gibt Empfehlungen zur Konstruktion von Instrumententafeln und Fließbildern
— 04 enthält Regeln für die Auslegung der Einbauten in Wartennebenräumen
— 05 erläutert die Anordnung von Bildschirmen in Warten.

• DIN/IEC 38 (Ausgabe Mai 1987)

„IEC-Normspannungen"

Die Einführung dieser IEC-Norm in der BRD ergab nachfolgende wichtige Veränderungen:

— Im Niederspannungsbereich sind für DS-Netze nur noch der Nennbereich 230/400 V (statt bisher 220/380 V) zugelassen. Energieversorgungs-Unternehmen sind bereit, diesen NS-Wert einzuführen, da es zu keiner Beeinträchtigung der Lebensdauer und Sicherheit der in Anlagen eingesetzten Betriebsmittel kommen soll.
— zulässige Mittelspannungsbereiche 3, 6, 10 und 20 kV (30 kV entfällt) für Betriebsmittel mit einer oberen Spannungstoleranz bis 20%.
— Zulässige Hoch- und Höchstspannungswerte 110, 220, 420 kV (statt bisher 380 kV) mit einer oberen Spannungstoleranz bis 10%; obere Höchstspannungsgrenze ist 1200 kV.

• VDI 3641 (Entwurf Oktober 1986)

„Mobile Datenübertragungssysteme für den innerbetrieblichen Transport"

Im innerbetrieblichen Transport ist die Kommunikation zwischen der Leitstelle und dem eingesetzten Fahrzeug über mobile Erfassungsgeräte unerläßlich. Das wird heute durch neue Technologien und durch den schnellen Datenaustausch zwischen den stationären und mobilen Rechnern sowie den Einsatz von Bildschirmeinheiten möglich. Der obengenannte VDI-Entwurf enthält notwendige Informationen über EDV-unterstützende Kommunikationstechniken zur Lager- und Transportrationalisierung in Unterteilung zu den Systemen

— der leitungsgebundenen Datenübertragung mit induktivem Fernsprechnetz
— der Infrarot-Datenübertragung
— mit Datenfunk.

• TGL 43390/IEC 694 (Ausgabe September 1987)

„Hochspannungsschaltgeräte und typgeprüfte Schaltanlagen; Gemeinsame technische Bestimmungen"

TGL 43390 ist einer der ersten Standards der DDR, der die Festlegungen einer IEC-Publikation direkt übernimmt und gilt für Wechselstromschaltgeräte und typgeprüfte Schaltanlagen für Innenraum- oder Freiluftaufstellung mit Nennspannungen über 1 kV und Nennfrequenzen bis 60 Hz. Er ist unterteilt in:

— allgemeine Festlegungen und zulässige Betriebsbedingungen
— Termini und Definitionen
— einzuhaltende technische Kenndaten und Festlegungen zur Konstruktion und Fertigung
— durchzuführende Prüfgänge der Typ- und Stückprüfungen
— Anleitung zur Auswahl von Schaltgeräten für den Betrieb
— Vorschriften für den Transport, Lagerung, Aufstellung und Instandhaltung.

• TGL 42576/IEC 298 (Ausgabe August 1987)

„Metallgekapselte Wechselspannungsschaltanlagen für Nennspannungen über 1 kV bis 72,5 kV"

TGL 42576 ist ebenfalls einer der ersten Standards der DDR, der die Festlegungen einer IEC-Publikation direkt übernimmt, um die Exportfähigkeit weltmarktfähiger DDR-Erzeugnisse besser zu dokumentieren. Er dient als Grundlagenstandard zur Entwicklung, Herstellung und Prüfung fabrikgefertigter Schaltanlagen für Spannungen über 1 kV bis 72,5 kV und zur Erarbeitung spezieller Erzeugnisstandards für diese Anlagen. TGL 42576 enthält Festlegungen zu den gleichen Bereichen wie obengenannte TGL 43390/IEC 694 und ist ergänzt um ein Stichwortverzeichnis mit speziellen Begriffen in deutscher, englischer und französischer Sprache nach dem IEV (IEC 50-441).

• Auswertung

Nach der ersten Auswertung der in den Jahren 1986/87 von internationalen IEC-Arbeitsgruppen durchgeführten Standardisierungsarbeiten für Elektro- und Automatisierungsanlagen kann festgestellt werden, daß sie sich besonders aktiv auf nachfolgende Bereiche konzentrierten:

— Sicherheit von MSR-Geräten (Tagung der IEC-SC 66E im Oktober 1986 in Dubrovnik/SFR Jugoslawien)
— Aufbau, Zuordnung, Dokumentation, Programmierung und Qualitätsanforderungen für Mikroprozessorsysteme (Tagung der IEC-SC 47 im September 1986 in Stockholm)

TAGUNGEN

6. Fachtagung „Elektrotechnologie" mit internationaler Beteiligung am 13. und 14. September 1988 in Magdeburg

Die Tagung stand unter der Schirmherrschaft der Präsidentin der Kammer der Technik der DDR, Frau Prof. Dr. Dr. *D. Hülsenberg*. Träger der Veranstaltung waren die Wissenschaftliche Sektion „Elektrotechnologie" der Kammer der Technik und die Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik im Rahmen der Wissenschaftlichen Tage, die im 35. Jahr des Bestehens der Technischen Universität „Otto von Guericke" Magdeburg stattfanden.
Traditionsgemäß verstanden sich die Veranstalter als Mittler zwischen Wissenschaft und Realisierung neuer Lösungen der Produktionsverfahrenstechnik. So wurden in den Vorträgen und Diskussionen auf den Gebieten

— elektrothermische Produktionsprozesse
— Elektrobearbeitungstechnik
— Strahltechnologien
— Oberflächenbeschichtungstechnologien
— elektronische Stromquellen und Prozeßsteuerungen

Entwicklungshilfen gegeben, in welcher Weise die Bereiche der Produktion in die Verfügbarkeit dieser Technologien gelangen können.
Verfahrens- und Anlagenentwickler wurden mit dem internationalen Entwicklungsniveau und -stand der elektrotechnologischen Verfahren vertraut gemacht.

Im Mittelpunkt des Interesses standen Vorträge zur Ausnutzung von Impulseffekten für die Teilebearbeitung, zur Realisierung automatischer Lichtbogen (Plasmastrahl-, Laser- und Elektronenstrahl-Produktionsverfahren), zur computergestützten energetischen Optimierung industrieller Elektrowärme-Hochtemperatur-Produktionsverfahren sowie zu Verfahrenscharakteristika galvanischer Beschichtungstechnologien im Vergleich zu anderen Oberflächentechnologien.
Ein Lehrfilm über die vergleichenden Untersuchungen des Lichtbogenverhaltens mit elektrischer Mehrgrößenerfassung und Hochgeschwindigkeits-Fotografie verdeutlichte die wissenschaftliche Arbeitsmethodik im Aufschluß von Elementarprozessen für die produktionspraktische Verwertung.
430 Teilnehmer aus Forschungs- und Hochschuleinrichtungen sowie der Industrie der DDR, UdSSR, ČSSR, VR Polen, Ungarischen VR, VR Bulgarien, BRD, aus der SFR Jugoslawien, Berlin (West) und der Schweiz nahmen an der Fachtagung „Elektrotechnologie" teil.
Führend an der wissenschaftlichen Gestaltung waren Wissenschaftler und Praktiker der TU Magdeburg, TU Dresden, TH Ilmenau und des Forschungsinstitutes „Manfred von Ardenne" Dresden sowie des VEB Kombinat Lokomotivbau und elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf.
Die Tagung wurde mit einem Fachseminar zum heutigen Stand der funkenerosiven Bearbeitung beendet, das die Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik in Zusammenarbeit mit der Schweizer AG für Industrielle Elektronik (AGIE) gestaltete.
Neben verfahrenstechnischen Informationen wurden die technologisch-ökonomischen Intensivierungseffekte deutlich, wie sie in der Verbindung der CAD/CAM-Technik mit neuen Verfahrensentwicklungen erreichbar sind.
Die breite Palette des Vortragsangebotes sowie die Komplexität und Vielschichtigkeit der angebotenen Themen zeigten, daß die Lösung der volkswirtschaftlichen Vorhaben eine verstärkte interdisziplinäre Kooperation zwischen Elektrotechnik und Maschinenbau erfordert.
Zum Abschluß der 6. Fachtagung „Elektrotechnologie" mit internationaler Beteiligung war Gelegenheit, die Lehr- und Forschungslabors sowie technologische Ausrüstungen des Wissenschaftsbereiches Elektrotechnologische Verfahren und Anlagen der Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik der TU Magdeburg zu besichtigen.
Die 7. Fachtagung „Elektrotechnologie" mit internationaler Beteiligung findet 1991 wieder in Magdeburg statt.

H. Barner, Magdeburg EA 2946

Bild 1. Frau Prof. Dr. Dr. *Hülsenberg*, Präsidentin der Kammer der Technik der DDR, bei ihrem Vortrag über die volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrotechnologie
Foto: *U. Locker*

— Gerätebestückung, Wartenkomplettierung und Sicherheitssysteme beim Reaktoreinsatz (Tagung der IEC im Juli 1987 in Pittsburgh/USA).

Dieser Trend wird sich international in den nächsten Jahren verstärkt fortsetzen. Der Beitritt des ASMW der DDR im Januar 1988 als Mitglied in die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) sollte eine stärkere Mitwirkung bei der Gestaltung bzw. Auswertung von neu herausgegebenen internationalen Vorschriften bewirken. Zudem müssen wichtige exportbestimmende Festlegungen auch bei der Fertigung von DDR-Erzeugnissen schneller umgesetzt werden.

Literatur

[1] *Kloust, H.:* Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Elektro- und Automatisierungstechnik. msr, Berlin 29 (1986) 12, S. 558–561
[2] *Kloust, H.:* Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Elektro- und Automatisierungstechnik. msr, Berlin 31 (1988) 1, S. 39 und 40
[3] Neues aus dem Normenwerk. DIN-Mitteilungen 66 (1987) 1 bis 12. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH
[4] Normenanzeiger. etz 108 (1987) 1 bis 20
[5] *Warner, A.:* Jahrbuch zum VDE-Vorschriftenwerk 1987. Neues über VDE-Bestimmungen und VDE-Leitlinien. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1987
[6] Internationale Standards. Mitteilungen des ASMW, Berlin 14 (1987) 1 bis 24. Verlag für Standardisierung

H. Kloust, Berlin EA 2811

Diagnostik in Automatisierungssystemen

139. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 15. September 1988

Dr.-Ing. *H. Keßler*, Sektion Berufspädagogik, berichtete in seinem Vortrag über Ergebnisse der Vertragsforschung zwischen der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt und dem VEB Numerik „Karl Marx". Den ersten Schwerpunkt bildeten Betrachtungen zu größeren Automatisierungssystemen, wie es z. B. CNC-gesteuerte Werkzeugmaschinen oder Bearbeitungszentren sind. Insbesondere wurden Probleme der Diagnose während der Phase der Nutzung solcher Anlagen behandelt. Aus dem Blickwinkel der technischen Diagnostik besteht ein solches System aus fünf Hauptkomponenten:

— Steuereinrichtung
— gesteuerte Einrichtung
— Umwelt

— Bediener
— Kanäle zu außerhalb liegenden Systemen.

Wie der Referent weiter erläuterte, sind derartige Systeme gekennzeichnet durch hohe Komplexität und Kompliziertheit, Variabilität der Struktur, kontinuierliche und diskontinuierliche Zustandsänderungen, das Vorhandensein analoger und diskreter Signale sowie einen hohen Anteil der Informationsverarbeitung durch Mikrorechner.
Bei der Diagnose sind die Phasen

— Fehlererkennung
— Fehlerreaktion
— Fehlerortung
— Instandsetzung

zu unterscheiden. Hierfür wurden detaillierte Anforderungen abgeleitet.
In einem zweiten Schwerpunkt wurde der gegenwärtige Stand der Diagnose am Beispiel der CNC-Technik dargestellt. Die Qualität der Diagnosedurchführung wird in den bestehenden CNC-gesteuerten Systemen bestimmt durch die Selbsttesteigenschaften der Steuereinrichtung, die Qualität des Diagnosehandbuches und durch Wissen und Können des Diagnosedurchführenden. Durch folgende Merkmale wird die Qualität neuer Diagnosesysteme unter anderem gekennzeichnet sein:

— Nutzung der höheren verfügbaren Rechenleistung und Speicherkapazität
— Nutzung grafischer Darstellungsmittel
— Nutzung der Datenfernübertragung
— Nutzung des Wissens des Diagnostizierenden mit rechentechnischen Mitteln.

Im dritten Schwerpunkt seiner Ausführungen stellte Dr. *Keßler* Software vor, die im Rahmen der Vertragsforschung entwickelt wurde. Dabei handelt es sich um Programme zur rationellen Erstellung des Diagnosehandbuches zur Ferndiagnose von CNC und ein Beratungssystem für die Diagnose.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2974

9. Internationales Wroclaw-Symposium 1988

Das 9. Internationale Wrocław-Symposium fand im Juni 1988 in der VR Polen statt. Es wurde von mehr als 250 Fachleuten aus 24 Ländern besucht, darunter von einer Delegation aus der DDR. Tagungsort war die Technische Universität Wrocław. Tagungssprachen: Englisch und Russisch.
Das periodisch veranstaltete Symposium findet aller zwei Jahre in Wrocław statt. Für Juni 1990 ist das 10. geplant. Jeweils im Wechsel dazu wurde für die Zeit vom 7. bis 9. März 1989 das nächste EMC-Symposium in Zürich angekündigt.
Wiederum unter der Schirmherrschaft des Ministers für Transport, Navigation und Nachrichtentechnik der VR Polen stand das diesjährige EMC-Symposium. Veranstalter war der Verband Polnischer Elektroingenieure (SEP), die Technische Universität Wrocław und das Institut für Nachrichtenwesen (TL). Dem Symposiumsrat und Wissenschaftlichen Programmkomitee obliegt die Vorbereitung und Durchführung der Tagung. Dort arbeiten 50 namhafte Wissenschaftler aus verschiedenen Ländern mit, die auch in diesem Jahr eine hervorragende Arbeit geleistet haben. Sie werden von vielen nationalen und internationalen Organisationen, die als Sponsoren auftreten, unterstützt.
Die Bedeutung, die international den Fragen der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC) beigemessen wird, zeigte sich in der inhaltlichen Vielfalt der eingereichten Beiträge, insbesondere aus den sozialistischen Ländern darunter aus der DDR, aber auch in der steigenden Zahl der Teilnehmer. Erfolg und Effektivität des Einsatzes immer höher integrierter Mikroelektronik sind in starkem Maße abhängig von der Beherrschung der Probleme der elektromagnetischen Beeinflussung.
Während der Eröffnungsveranstaltung wurden verdienstvolle Mitglieder der Komitees für ihre langjährige, erfolgreiche Mitarbeit ausgezeichnet. Dr.-Ing. habil. *Lorke* vom Institut für Post- und Fernmeldewesen der DDR erhielt die Goldene Ehrennadel des Verbandes der Polnischen Elektroingenieure.

Plenarveranstaltung

Stumpers (Niederlande), Vorsitzender des Wissenschaftlichen Programmkomitees, bewertete in seinem Vortrag „Bemerkungen über das Programm" die eingereichten Beiträge für die Sektionen und hob die Rolle der Internationalen Organisationen, die sich für die EMC-Arbeit verantwortlich fühlen, wie URSI (International Union of Radio Science) und CCITT (International Telegraph and Telephon Consultative Committee), hervor.
Gorgolewski (VR Polen) stellte die Radioastronomie als ein Beispiel für die Notwendigkeit der EMC-Maßnahmen im Vortrag „Radioastronomie und Frequenzschutzprobleme" heraus. Damit diese Technik mit den hochempfindlichen Aufnahmegeräten überhaupt funktioniert, müssen unter den derzeitigen Umweltbedingungen für alle Frequenzbereiche umfangreiche Maßnahmen ergriffen werden.

Sektionsveranstaltungen

Die eingereichten Beiträge wurden in 15 Sektionen bzw. 10 Postergruppen vorgestellt. Sie alle dienen der EMC, die laut Definition die Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems (gemeint ist auch der Organismus) umfaßt, in der vorgegebenen elektromagnetischen Umgebung ordnungsgemäß zu funktionieren, ohne dabei selbst zu stören bzw. zerstörend zu wirken.
Die einzelnen Sektionen wurden von namhaften Spezialisten geleitet. Im Überblick sind folgende Beiträge für die Starkstrom-, Automatisierungs- und Blitzschutztechnik zu nennen.

Gruppe B

Elektromagnetische Beeinflussung in drahtgebundenen Nachrichtenanlagen;
Diskussionsleiter: Dr. *Lorke* (DDR)

B1: *Persson* (Schweden)
Schutz vor Gefährdung und Störungen elektromagnetischer Quellen (Messung von Überspannungen in Niederspannungsanlagen)
B2: *Götze; Schüppler* (DDR)
Methoden der Erhöhung der Störfestigkeit — Beziehungen zwischen EMC und Nachrichtenwesen
B4: *Rous* (ČSSR)
Einfluß der Metallschirme von Nachrichtenkabeln auf die Leiter-Erde-Spannung bei direkten Blitzeinschlägen
B7: *Thöry; Oley* (DDR)
Vielfachnutzung des Blitzgenerators für die Prüfungen nach Vorschriften des CCITT
B8: *Varju* (Ungarische VR)
Berechnung induzierter Spannungen und Ströme (Starkstrombeeinflussung)
B9: *Jinde* (China)
Berechnung von Kabelschirmfaktoren

Gruppe D

Störfestigkeit und Empfindlichkeit elektronischer Systeme
Diskussionsleiter: Dr. *Polozok* (UdSSR)

D1: *Sperling* (DDR)
Meßergebnisse elektromagnetischer Störquellen in Kraftfahrzeugen
D4: *Nitta* (Japan)
Störfestigkeit von NAND-Gattern der LS-Serie
D5: *Baitleuow* (UdSSR)
EMC im Bergbau
D7: *Deb; Pande* (Indien)
EMC für Sicht- und Lasersuchgeräte auf Kampffahrzeugen

Gruppe E

Kugel- und Perlschnurblitze
Diskussionsleiter: Prof. *Kikuchi* (Japan)

E1: *Ohtsuki; Ofuruton* (Japan)
Natur der Kugelblitze
E2: *Dijkhuis* (Niederlande)
Energiegesetze auf Kugelblitze angewendet
E3: *Takeuti* (Japan)
Neue Idee der Erdblitzlokalisierung mit Radar
E4: *Egely* (Ungarische VR)
Analyse der Kugelblitzbeobachtungen

Gruppe F

EMC im Amateurfunkdienst
Diskussionsleiter: *Cichoń* (VR Polen)

F1: *Yoshino* (Japan)
Störangriffsstellen im Fernsprechendgerät durch den Amateurfunk
F3: *Cichoń; Trzaska* (VR Polen)
Beeinflussung der Heimelektronikerzeugnisse durch Funkamateure

Gruppe H

Elektromagnetische Störung (EMI) — Quellen und Absenkungsmaßnahmen
Diskussionsleiter: *Rutkowski* (VR Polen)

H2: *Aida; Uchimura* (Japan)
Meßergebnisse von HF-Störungen durch Lichtbögen beim Schalten von Silberkontakten im Bereich 10 bis 500 V GS (Relaisschaltungen)

Gruppe I

Energieübertragungsleitungen
Diskussionsleiter: Prof. *Pilatwicz* (VR Polen)

I2: *Gretsch; Gunselmann* (BRD)
Oberwellen im MS-Netz (Computerberechnung)
I3: *Kawamata; Edano; Miyazaki; Matsucka; Kokubu* (Japan)
Vorschlag zur Verminderung von induzierten Spannungen auf NS-Leitungen
I4: *Major* (ČSSR)
Messungen über Beeinflussungen der NS-Energieversorgungsnetze

I8: *Kaidanov* (UdSSR)
Messungen der Beeinflussung von Fahrzeugen unter 500- und 1150-kV-Leitungen

Gruppe K

Messung elektromagnetischer Störgrößen (EMI)
Diskussionsleiter: Dr. *Sanyal* (Indien)

K1: *Gauger* (BRD)
Messung von Grenzwerten der Störemissionen nach internationalen Empfehlungen der CISPR 22, insbesondere von Rechnerbaugruppen

K2: *Grudzinski; Trzaska* (VR Polen)
Feldstärkemeßgeräte für Frequenzen unter 100 kHz für die Feststellung der zulässigen Grenzwerte für den Organismus (Arbeitssicherheit)

Gruppe M

Elektromagnetische Umgebung der Erde
Diskussionsleiter: Prof. *Bullough* (GB)

M4: *Hayakawa* (Japan)
Satellitenbeobachtungen der Weltgewittertätigkeit

M5: *Kawamata; Edano; Miyazaki; Kokubu; Nishida* (Japan)
Ausbreitungscharakteristik elektromagnetischer Signale von Blitzentladungen

Gruppe N

Elektrostatische Entladungen (ESD), Blitze, elektromagnetische Impulse (EMP)
Diskussionsleiter: Dr. *Hamelin* (Frankreich)

N1: *Leteinturier; Hamelin* (Frankreich); *Weidmann* (USA)
Ströme und Felder, Meßergebnisse bei getriggerten Blitzen

N2: *Kostenko* (UdSSR)
Geschwindigkeit und Wellenwiderstand des Blitzkanals (Berechnungen)

N4: *Sowa* (VR Polen); *Diendorfer* (Österreich)
Einfluß des Blitzstromes auf die induzierten Spannungen in Gebäuden

N5: *Hofbauer* (Österreich)
Die Einschlagwahrscheinlichkeit für Umspannwerke in Abhängigkeit von der Anordnung der Auffangeinrichtungen

Gruppe O

EMC und biologische Risiken
Diskussionsleiter: Prof. *Betsky* (UdSSR)

O3: *Mikolajczyk; Kamedula* (VR Polen)
Beobachtungsergebnisse des Einflusses von elektromagnetischen Feldern (8-, 41- bzw. 45-kHz-Felder) auf Ratten unter besonderer Berücksichtigung der H-Feldkomponente

O5: *Li Ji-Xi; Niu Zhongqi; Zhu Pengjiu; Cheng Jizhong* (VR China)
Bioeffekte der λ mm-Wellenstrahlung (Zerstörung des Knochenmarks)

In den 10 Postergruppen wurden gleiche Themen wie in den Sektionen behandelt und weitergeführt. Hier wären zu nennen:

PR1: *Lazarov* (VR Bulgarien)
Methodische Aspekte und praktische Probleme der studentischen Ausbildung auf dem Gebiet der EMC

PT2: *Bem; Wieckimski* (VR Polen)
Konzept für ein IMPULS-Labor

PY2: *Sowa; Zielenkiewicz* (VR Polen)
Schirmungseffekt der Stahlkonstruktionen von Gebäuden gegenüber elektromagnetischen Feldern einer Blitzentladung

Während des Symposiums war eine kleine Ausstellung von Meßgeräten, Schutzgeräten und Schutzmaterialien zu sehen. Unter anderem wurden gezeigt:

- GI 5/50 Impulsgenerator
  Hersteller: Institut Komputerowych Systemow Automatyki i Pomiarow Wrocław, VR Polen
  Kennwerte: 0,5 bis 4 kV; 80 A bei 4 kV; 4 mJ bei 2 kV; 50 Ω Innenwiderstand
- 1,2/50 Blitzgenerator (zur Prüfung von Betriebsmitteln auf Spannungsfestigkeit)
  Hersteller: Institut Komputerowych Systemow Automatyki i Pomiarow Wrocław, VR Polen
  Kennwerte: max. 5 kV; 3 J bei 5 kV; 200 Ω Innenwiderstand; periodische Auslösung 0,1 bis 1 Hz; Abmessungen: 600 mm × 400 mm × 250 mm
- Überspannungsgeschützter Steckdosenverteiler ACAR (geeignet für den Schutz von Bürocomputern)
  Hersteller: PPZ ALPHA, Zaklad MARCO ELECTRONIC Oddzial we Wrocławiu, Wrocław (VR Polen)
  Kennwerte: 220 V, 50 Hz; 10 A; < 50 ns Ansprechverzögerungszeit; > 34 dB Spannungsabsenkung; 4 kV maximaler Eingangsimpuls
- Meßgeräte der Firma Rohde und Schwarz (BRD)
- Überspannungsschutzbausteine der Firma Huber + Suhner AG (Schweiz)

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß das EMC-Symposium einen sehr guten Beitrag zur Weitergabe neuester Erkenntnisse auf dem Gebiet der EMC geleistet hat.

Weitere Informationen:

— Präsidium der KDT, FV Elektrotechnik;
— Institut für Post- und Fernmeldewesen Berlin, Oranienburger Str. 70, Berlin 1040, Dr.-Ing. habil. *Lorke*
— Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden, Gerhart-Hauptmann-Str. 1, Dresden 8020, Dr.-Ing. *Naumann*.

Die Tagungsmaterialien liegen in englischer bzw. russischer Sprache vor.

W. Naumann, Dresden EA 2970

Direkte Drehmoment- und Flußregelung bei Drehstromantrieben, die über Spannungswechselrichter gespeist werden

292. Elektronisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden am 28. September 1988

Referent: Doz. Dr.-Ing. habil. *M. P. Kazmierkowski*, TU Warschau, Institut für Steuerung und industrielle Elektronik

Einleitend ging der Referent von der Methode der feldorientierten Regelung aus, für deren Realisierung eine schnelle Stromregelung Voraussetzung ist. Bei Speisung eines Asynchronmotors über Spannungswechselrichter ist diese Voraussetzung im allgemeinen nicht gegeben, da mit der üblicherweise verwendeten Drehstrombrückenschaltung für den Wechselrichter nur sechs aktive Zustände und ein Nullzustand des Spannungsvektors erzeugt werden können. Ausgehend von dieser Erkenntnis ist festzulegen, wie lange die Intervalle der aktiven Zustände bzw. des Nullzustands sein müssen, um einen konstanten Belastungswinkel (Winkel zwischen Ständer- und Läuferflußverkettungsvektor) und damit einen Betrieb des Asynchronmotors ohne Kippmoment zu garantieren. Die Lösung dieses Problems führt zur Beobachtung des Ständerflußvektors und dessen Regelung, was letztlich der Entkopplungsregelung bei feldorientiertem Betrieb entspricht. Die Beobachtung des Ständerflusses gestattet seine direkte Regelung. Zwei Verfahren wurden vorgestellt:

— Ortskurve des Ständerflußvektors ist eine Kreisbahn
— Ortskurve des Ständerflußvektors ist ein Sechseck.

Das erste Verfahren führt zu einem Antriebssystem, das ohne Modulator (wie z. B. beim Unterschwingungsverfahren) auskommt, aber einen Drehmomentregler und einen Flußregler (Zweipunktregler) benötigt. Ergebnisse einer Simulation des Antriebssystems zeigen, daß eine Drehmomentumkehr innerhalb von $2 \cdots 3$ ms möglich ist. Wesentlich für das Verhalten des Systems ist die Hysteresebreite des Flußreglers. Bei einer Hysteresebreite von 3% (bezogen auf den Nennwert) ergeben sich zufriedenstellende zeitliche Fluß- und Stromverläufe. Bereits bei einer Hysteresebreite von 20% ist der Oberschwingungsgehalt unzulässig hoch, und bei 30% wird das System instabil. Das zweite Verfahren ermöglicht in Anlehnung an netzgelöschte Stromrichter eine direkte Gewinnung der Ansteuersignale für die Wechselrichterventile aus den Ausgangssignalen der in diesem System vorhandenen drei Komparatoren für die Flußregelung.
Der Drehmomentregler generiert die Signale für den Nullzustand des Ständerflußvektors. Der Referent wies anhand von Simulationsergebnissen nach, daß das Antriebssystem sowohl im Normalfeld- als auch im Feldschwächbereich betrieben werden kann.
Bemerkenswert ist, daß ein Drehzahlregler nicht unbedingt erforderlich ist. In der Diskussion wurden vor allem Fragen der Realisierung der einzelnen Funktionseinheiten, besonders des Maschinenmodells, sowie Vor- und Nachteile der beiden Varianten angesprochen.

É. Seefried, Dresden EA 2945

20 Jahre Automatisierungstechnik an der TU Karl-Marx-Stadt

140. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik anläßlich der Sektionsgründung am 10. September 1968

Der Vorsitzende der KDT-Sektionsgruppe Automatisierungstechnik, Prof. Dr. sc. techn. *Wolfgang Fritzsch*, begrüßte Gäste und Mitarbeiter der Sektion zu einem Jubiläumskolloquium, das auf Grund des zwanzigjährigen Bestehens der Sektion Automatisierungstechnik an der TUK zum Anlaß genommen wurde, Bilanz zu ziehen über Geleistetes und vorausschauend abzu-

schätzen, wie künftige Aufgaben bewältigt werden sollen.

Die Gründung der Sektion Automatisierungstechnik erfolgte in unmittelbarer Auswertung des VII. Parteitages der SED und der 3. Hochschulreform aus der Erkenntnis heraus, daß für die Stärkung der materiellen Basis der DDR rationellste Automatisierungslösungen notwendig sind, die den Einsatz von spezialisierten Hochschulkadern in allen Bereichen unserer sozialistischen Industrie erfordern.

Die Sektion vereinigte das Institut für Starkstromtechnik (Direktor: Prof. *Budig*), das Institut für Regelungstechnik (Direktor: Prof. *Peschel*), das Institut für allgemeine und theoretische Elektrotechnik (Direktor: Dr. *Helm*) sowie einen Teil der Ingenieurpädagogen der Elektrotechnik der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt. Mit der Vereinigung der Institute erfolgte für eine konzentrierte effektive Forschungs- und Lehrarbeit die Bildung der Lehrbereiche

- — Elektrische Antriebe (Leiter: Prof. *Budig*)
- — Allgemeine und theoretische Elektrotechnik (Leiter: Dr. *Pfeifer*)
- — Technische Kybernetik (Leiter: Prof. *Riedel*)
- — Automatisierungstechnik (Leiter: Prof. *Fritzsch*)
- — Methodik des berufstheoretischen Unterrichts Elektrotechnik (Leiter: Dipl.-Ing. *Thomas*).

In seinem Referat schilderte der erste Direktor der Sektion Automatisierungstechnik, Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. *Peter-Klaus Budig*, wie einerseits die Entwicklung der Wissenschaftsdisziplinen immer spezialisierter und differenzierter voranschreitet, andererseits aber nur durch die Integration unterschiedlicher Wissenschaftszweige und mit deren Zusammenwirken technisch und ökonomisch effektive Ergebnisse in Wissenschaft und Technik erreicht werden können. Bereits in den Anfangsjahren erforderte die Umsetzung des Staatsratsbeschlusses der DDR vom 3. April 1969 über die Weiterführung der 3. Hochschulreform und Entwicklung des Hochschulwesens bis 1975 eine Überarbeitung des Grundstudienplanes für die Fachrichtung Automatisierungstechnik. Dabei entstand ein Lehrplanwerk, das umfassend den gesellschaftlichen, wissenschaftlichen und technischen Anforderungen einer modernen sozialistischen Hochschulbildung entsprach. Erstmalig erschienen in diesem Plan solche Wissensgebiete, wie Kybernetik, elektronische Datenverarbeitung, Technologie.

Vor dem Hintergrund territorialer Erfordernisse und umfangreicher Gemeinschaftsarbeit mit dem Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues sowie dem damaligen VEB Starkstromanlagenbau Karl-Marx-Stadt, dessen Umprofilierung zum heutigen VEB Numerik „Karl-Marx" sich abzuzeichnen begann, schrieb sich die junge Sektion dann auch „Automatisierte Systeme der Fertigungsprozeßsteuerung" auf die Fahne. Damit war wohl diese Sektion in der DDR die erste, die in der richtigen Erkenntnis der Entwicklungsrichtung in umfangreichem Maße Nachwuchskader — Diplomanden wie auch promovierte Fachleute — für den Einsatz in der Industrie ausbildete.

Auf Grund der Spezialisierung und Vertiefung auf dem Gebiet automatisierter Antriebe in Forschung und Lehre wurde Anfang der 70er Jahre zudem die Fachrichtung Elektrotechnik, also eine starkstromtechnisch orientierte Fachrichtung, in das Ausbildungsprofil eingeordnet.

Den Rückblick zu seinerzeit zusammengeführten Wissenschaftsgebieten verband der Referent mit würdigenden Worten für viele Verdienste profilierter Hochschullehrer und in deren Fußstapfen laufende ehemalige Schüler der Alma mater. Beispielsweise orientierte Prof. *Peschel* das Gebiet der technischen Kybernetik vorrangig auf die ingenieurwissenschaftliche Applikation mathematischer Theorien, so daß daraus das Theoriegebäude der unscharfen Systeme mit solchen Trägern wie dem heutigen Prof. *Bocklisch*, der in dieser Richtung bedeutende Leistungen erbracht hat, entstanden ist. Ebenso bildete sich dabei das Wissenschaftsgebiet der Polyoptimierung heraus, das heute Prof. *Ester*, ehemaliger FDJ-Sekretär und Beststudent der Sektion, vertritt.

Aber auch das Gebiet der Regelungstechnik, das durch Prof. *Göldner* repräsentiert wird, bildete eine Säule im Profil der Sektion Automatisierungstechnik. Bekannt sind sein Buch über die mathematischen Methoden der Regelungstechnik, das als anerkanntes Hochschullehrbuch inzwischen eine Vielzahl von Auflagen erreicht hat und die weiterführenden Arbeiten zu „robusten Systemen" sowie „nichtlinearen Regelungen". Die gemeinsam mit Prof. *Kubik* von der TH Plzen gewonnenen Erkenntnisse führten zur Herausgabe des Buches *Göldner/Kubik:* „Nichtlineare Systeme der Regelungstechnik".

Durch eine Vielzahl hervorragender wissenschaftlicher Arbeitsergebnisse haben unsere Wissenschaftler dazu beigetragen, den guten Ruf der Sektion über die Grenzen unserer Stadt und unseres Landes hinauszutragen. Im Wettbewerb und in Kooperation mit Universitäten, Hochschulen, Instituten und Industriebetrieben müssen die Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik am Lehrstuhl des derzeitigen Direktors der Sektion Automatisierungstechnik, Prof. *Wächter*, insbesondere hinsichtlich der Mikrorechnerautomatisierung sowie Simulation und Projektierung elektrohydraulischer Antriebssysteme, aber auch für die Prozeßautomatisierung — wesentlich getragen von Prof. *Fritzsch* — schrittweise und mit Beharrlichkeit umgesetzt und in der sozialistischen Industrie wirksam gemacht werden.

Das Gebiet der theoretischen Elektrotechnik, seinerzeit von Prof. *Helm* orientiert auf Fragen der Signalübertragung, zeichnete sich in den Anfangsjahren insbesondere durch die Hinwendung zur digitalen Signalübertragung aus, das in logischer Konsequenz später eine Hinwendung zur Lichtwellenleiter-Signalübertragung erfuhr. Durch seine Mitarbeit im Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues bei der Überleitung der Forschungsergebnisse ist es auch sein Verdienst gewesen, daß in der DDR schon frühzeitig Fertigungssysteme gebaut werden konnten, die mit digitalen Steuerungen versehen störungsfrei arbeiten und sich auf dem internationalen Markt sehen lassen konnten. Angeregt durch Prof. *Budig* entstand Anfang der 70er Jahre als Alternative zur elektromagnetischen Antriebsbewegung eine Konzeption zur Anwendung des piezoelektrischen Effektes für Bewegungselemente und Relais.

In der langen Reihe der Aufzählungen dürfen die Gebiete der Steuerungstechnik, die heute Prof. *Meyer* vertritt, und der Ultraschallmeßtechnik, wo Dozent Dr. *Manthey* international bedeutsame Forschungsergebnisse vorzuweisen hat, nicht unerwähnt bleiben.

Die Lehr- und Forschungstätigkeit auf dem großen Gebiet der elektrischen Antriebstechnik und -mittel, anfänglich gekennzeichnet durch die Suche nach neuen Lösungswegen für Bewegungselemente, wie beispielsweise Linearmotoren und Piezoschrittmotoren, später übergehend zur Integration der Leistungselektronik/Mikroelektronik mit den Antriebselementen und schließlich die Betrachtung als ein in sich geschlossenes System wurde unter Leitung des heutigen Dekans der Fakultät für Elektroingenieurwesen, Prof. *Budig*, jederzeit spürbar vorangetrieben. Sowohl auf dem Gebiet hochtouriger Antriebe als auch bei Mehrmotorenantrieben, für elektromagnetische Steller sowie auch ihre Verflechtung in elektronischen Getrieben liegen Lösungsvarianten vor, die ein hohes Niveau aufweisen und jederzeit einsatzfähig sind.

Wie sich gezeigt hat, kann dieses Gebiet nicht weiterentwickelt werden, wenn nicht gleichzeitig elektronische Schalt- und Schutztechnik verfügbar ist. Mit seiner Forschungsarbeit hat Dozent Dr. *Amft* dieses Gebiet an der Sektion Automatisierungstechnik aufgebaut und durch Nutzung der modernen Mittel der Mikroelektronik neuartige Strategien und Diagnosemethoden für Schalt- und Schutzfunktionen entwickelt. Den Kreis der elektrotechnischen Fachgebiete schließt Prof. *Olbrisch* mit dem Lehrstuhl Technologie der Elektrotechnik, der sich den speziellen Fragen der Fertigung elektrotechnischer Erzeugnisse unter Berücksichtigung der Spezifika der Isoliertechnik zugewandt hat.

Prof. *Budig* verwies darauf, daß die in den zwanzig Jahren des Bestehens der Sektion erbrachten Leistungen einerseits in der Fachliteratur Niederschlag gefunden haben, andererseits viele Nachwuchswissenschaftler, die von sich reden gemacht haben, ihre Bewährungsprobe in der industriellen Praxis vielfach bestanden haben. An dieser Stelle kann auf 179 Promotionen A, 15 Promotionen B und etwa 2000 Diplomarbeiten verwiesen werden.

In einem zweiten Vortrag berichtete der ehemalige Forschungsstudent Dr. *Jugel* über Arbeitsergebnisse der Forschung auf dem Gebiet aktiver magnetischer Lager. Durch die Fortschritte in der Ansteuerung mit modernen leistungselektronischen Bauelementen etabliert sich auch die Drehstromantriebstechnik zunehmend in Bereichen höherer und höchster Drehzahlen. Diese Direktantriebe verlangen nicht nur völlig neue Dimensionierung des elektromagnetischen Teils, sondern auch ein Umdenken bei allen Komponenten dieser Antriebe, wie beispielsweise Isolierstoffe, Belüftung und Lagerung. Auf Probleme der Tragkräfte sowie hoher statischer und dynamischer Steifigkeit der Lagerung und deren Lebensdauer eingehend, belegte der

Referent die Vorteile magnetischer Lager durch völlige Berührungsfreiheit und regelungstechnische Beeinflußbarkeit der Lagereigenschaften. Nach Darstellung des Aufbaus und der prinzipiellen Wirkungsweise aktiver magnetischer Lager wurden die in der Versuchsanlage erreichten Ergebnisse vorgestellt und abschließend als mögliche Anwendungsgebiete unter anderem Werkzeugmaschinen mit hochtourigen Spindeln sowie Pumpen und Verdichter genannt.

Im nächsten Vortrag stellte Dipl.-Ing. *Jürgen Lange* Ergebnisse der Modellierung und Simulation diskontinuierlicher Fertigungssysteme auf der Basis von Prädikat-Transitions-Netzen vor, die in seiner Dissertation A Niederschlag finden. Die Forschungsarbeiten zielen darauf ab, durch geeignete Modellierungs- und Simulationslösungen bereits in der Projektierungsphase eine Leistungsbewertung flexibler Fertigungslösungen vornehmen zu können. Die angewendeten Netze eignen sich besonders gut für ereignisorientierte Systeme auf dem Gebiet des Materialflusses sowie aller Transport-, Umschlag- und Lagerungsprozesse. Auf Grund erfahrungsgemäß vorhandener Probleme zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer orientiert sich die Arbeit auf Mittel und Methoden zur formalen sowie informalen Darstellung während der Phase des Entwurfs und der Projektvorbereitung. Die Anwendung der Simulation ist speziell auf komplizierte Systeme gerichtet, welche am realen Objekt Experimente entweder nicht zulassen oder deren Durchführung zu aufwendig, zu gefährlich oder zu kostspielig wäre. Den inhaltlichen und anwendungstechnischen Darlegungen des Programmsystems POSES folgte die Demonstration anhand einiger Anwendungsbeispiele.

Im vierten Vortrag ging der Sektionsdirektor, Prof. Dr. sc. techn. *Wächter*, unter dem Thema „Entwicklung der Sektion Automatisierungstechnik in Gegenwart und Zukunft" auf verschiedene Probleme von Lehre und Forschung näher ein. Der Inhalt der beiden vorherigen Vorträge läßt bereits erkennen, welche Breite die Aufgabenpalette aufweist und wie umfangreich die Problemkreise sind, die an der Sektion bearbeitet werden. Auf der Basis der für die Sektion Automatisierungstechnik typischen Grundlagenfächer Elektrotechnik und Technische Kybernetik/Automatisierungstechnik sowie der entsprechenden fachspezifischen Wissenschaftsgebiete (industrielle Elektronik, Leistungselektronik, Antriebstechnik und -mittel bis hin zur Technologie der Elektrotechnik sowie Automatisierungstechnik, Regelungstechnik, Steuerungstechnik, operative Prozeßsteuerung und Automatisierungsgerätetechnik) gestalten die Technikwissenschaftler durch ihre Leistungen in Lehre und Forschung hinsichtlich der theoretischen und ingenieurtechnischen sowie methodischen Grundlagen für die Entwicklung von Hard- und Softwarekomponenten der rechnerintegrierten Fertigung das Profil der Sektion. Die Ausprägung in Richtung diskontinuierlicher Fertigung ist einerseits begründet in der gegenwärtig wohl höchsten Innovationsrate auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik und andererseits auch durch die territoriale Stellung unserer Bildungseinrichtung im Zentrum des Maschinenbaus, der Elektrotechnik sowie der Leicht- und Konsumgüterindustrie.

Im weiteren hob der Sektionsdirektor bedeutende Forschungsleistungen der jüngsten Vergangenheit hervor, deren volkswirtschaftliche Bedeutung nicht zuletzt durch verschiedene Auszeichnungen unterstrichen wird. Dabei kam auch die Bedeutung wissenschaftlicher Zusammenarbeit mit Instituten und Kombinaten zur Sprache, was sich sowohl in qualitativer Hinsicht als auch im Zuge einer raschen Überführung in die Praxis stets positiv ausgewirkt hat.

Von Hochschullehrern und Mitarbeitern der Sektion wurden in Vorbereitung des XI. Parteitages der SED wissenschaftlich begründete Entwicklungsstrategien der einzelnen Fachgebiete bis zum Jahr 2000 erarbeitet. Mit Beginn des Studienjahres 1988/89 wurden auf der Grundlage der „Konzeption für die Gestaltung der Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Ökonomen der Deutschen Demokratischen Republik" (Beschluß des Politbüros des ZK der SED vom 28. Juni 1983 und des Ministerrates vom 7. Juli 1983) neu erarbeitete Ausbildungsdokumente für das Grundlagenstudium eingeführt. Die selbständige wissenschaftliche Arbeit der Studenten bildet einen Schwerpunkt des neugestalteten Studieninhalts. Neben der vertieften Informatikausbildung wird der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses großes Augenmerk geschenkt.

Die intersektionelle und überbetriebliche Zusammenarbeit erstreckt sich bis weit über unsere Landesgrenzen hinaus. Auf Grund der Kontakte mit sowjetischen Bildungseinrichtungen absolvieren beispielsweise gegenwärtig elf Studenten der Sektion Automatisierungstechnik Teilstudien am Nowosibirsker Elektrotechnischen Institut, dem Polytechnischen Institut Tallinn bzw. dem Leningrader Elektrotechnischen Institut.

Im weiteren ging Prof. *Wächter* auf der Grundlage statistischer Angaben auf die Entwicklung von Studentenzahlen und für die Effektivität der Ausbildung unentbehrliche modernste Grundmittel ein. Abschließend gab der Referent seiner Hoffnung Ausdruck, daß die guten materiellen Voraussetzungen für eine progressive Forschungs- und Lehrtätigkeit unseren Hochschullehrern und Mitarbeitern Ansporn und Verpflichtung für die Erzielung bestmöglicher Wettbewerbsergebnisse zu Ehren des 40. Jahrestages der DDR, besonders im Hinblick auf die rasche Industrieanwendung moderner CIM-Komponenten in einer rechnerintegrierten automatisierten Fertigung sein werden, und bedankte sich für die bisher erbrachten hohen Leistungen aller Sektionsangehörigen, die letzten Endes dazu beigetragen haben, daß die Sektion Automatisierungstechnik im Rahmen der Fakultät Elektroingenieurwesen als beste Sektion ausgezeichnet werden konnte.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2972

BUCHER

Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren

Von *P. K. Budig*. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 1. Auflage. 296 Seiten, 197 Bilder, 38 Tafeln

Der Autor verfolgt die Absicht, das Zusammenwirken von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Stromrichter-Stellgliedern im stationären Betrieb darzustellen und daraus Gesichtspunkte für den Entwurf derartiger Antriebssysteme herzuleiten. Demzufolge bildet die Behandlung von Auswirkungen der durch die Stromrichter hervorgerufenen Spannungs- und Stromoberschwingungen auf die Drehmomentbildung und die Verluste im Motor einen wesentlichen Teil des Buches.

Steuerverfahren zur Reduzierung der Oberschwingungseinflüsse, wie Pulsmustersteuerung, Unterschwingungsverfahren u.ä., sind ausführlich dargestellt. Darüber hinaus werden Bemessungsrichtlinien für den Einsatz serienmäßiger Asynchronmaschinen in derartigen Antriebssystemen und für den Entwurf „wechselrichterspezifischer" Asynchronmotoren angegeben. Das Buch ist in 10 Kapitel gegliedert:

1. Zur Geschichte der Antriebstechnik
2. Geregelte Antriebe und Energieökonomie
3. Vergleiche der Gleichstrom- und Drehstromantriebstechnik
4. Frequenz-spannungsgestellte Asynchronmaschine
5. Verfahren zur Erzeugung der Pulsmuster
6. Der stromrichtergespeiste Asynchronmotor
7. Moment des stromrichtergespeisten Asynchronmotors
8. Betrieb des Asynchronmotors am Wechselrichter
9. Geregelter Antrieb mit Asynchronmotoren
10. Die stromrichtergespeiste Synchronmaschine

Der Autor stützt sich auf seine umfangreichen Erfahrungen auf dem Gebiet der frequenzgesteuerten Asynchronantriebe in Forschung und Lehre. So ist vielleicht auch die relativ breite Behandlung des Kreisdiagramms der Asynchronmaschine zu verstehen.

Die Darstellung des umfangreichen Stoffes ist sehr komprimiert und erfordert eine intensive Mitarbeit des Lesers. Wünschenswert wäre in diesem Zusammenhang ein ausführlicheres Formel- und Sachwörterverzeichnis. Auf die Einführung der Spannung E im 10. Kapitel sollte zugunsten einer einheitlichen Bezeichnungsweise verzichtet werden.

Insgesamt ist es dem Autor gelungen, dem Leser seine umfangreichen Erfahrungen auf dem Gebiet der Drehstromantriebe zu vermitteln und dem Praktiker wie dem Studierenden eine Fülle wertvoller Informationen zu bieten.

E. Seefried, Dresden EA 3009

Documentation

Wagner, W.

Turbo-Generator of 110 MW Adapted to Reconstructing the Power Station Blocks of 100 MW in the GDR

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 124–126, 4 Figs., 1 Table

The reconstruction of the turbo-generators of 100 MW, which were taken into operation in the power stations of the GDR in the period of 1962 to 1967, has to secure the further operation for a term of 25 years without any restrictions, numbered from the date of reconstructing, whereby reaching a power increase of 10 %. Thereby modernizing and increasing the reliability have to be maintained. The technical data of the turbo-generators are listed, and a description of the constructive design is given.

Glebov, I. A.; Danilewitsch, Ja., B.

Problems of the Diagnosis of Turbo-Generators

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 127–128, 1 Table, 6 Equations, 3 Refs.

The tasks of the diagnosis of turbo-generators are discussed, and the characteristic values are named, which should be monitored continuously (monitoring), to be able to discover in time developing defects and to start corresponding, automatically effecting measures, to prevent disturbances. Supervising the temperature state of the stator windings and the oscillations of the inductor is most importantly.

Lemberg, G.

Improved Acquisition of the Damper System of Synchronous Full Pole Machines

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 129–132, 4 Figs., 23 Equations, 5 Refs.

A possibility of mathematically modelling the turbo-generator is described, which requires the acquisition of much more details of the damper system, when tasks of computing non-stationary processes have to be solved, which are relevant to practice. Thereby is hinted to the use of the method of the finite elements.

Pärsch, H.; Müller, F.

Behaviour of the Disruptive Voltage of a Mica Paper Insulation Lay-Out during Electrically Aging

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 132–134, 6 Figs., 2 Equations, 4 Refs.

In model lay-outs of the mica paper insulation of rotating high-voltage machines measuring the disruptive voltage was done during and at the end of electrically aging. The tests showed, that the disruptive voltage is maintained immediately near its starting value, nearly to the almost complete close of the electric life.

Krause, W.

Determination of the loads in Rotating Parts of a Turbo-Generator and Essential Prerequisites for Calculating the Life during Operating Conditions

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 135–138, 10 Figs., 2 Tables, 7 Refs.

A survey of the present state of knowledge in designing inductors is given, Load assumptions, computing methods and computing programmes are represented and the author's own computing results are illustrated. A consideration of the life if inductor oscillations is made by means of the discussed problems.

Hlaváč, J.

New Turbo-Generators for the Nuclear Power Station North

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 129–141, 4 Figs., 2 Tables, 1 Equation, 6 Refs.

The turbo-generator of 220 MW of the SKODA-Factories of Plzen/ČSSR is represented, which shall be used in the last planning period of the nuclear power station North. The cooling system and the exciter equipment are described in more detail, and the main parameters are given.

Dytewski, K.

Eliminating Stator Oscillations of a Turbo-Generator of 200 MW

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 141–144, 5 Figs.

Stator oscillations are described, which were found out in some turbo-generators of 200 MW. Results of the comparing measurements of stator oscillations are indicated, which were made under operating conditions in five turbo-generators of 200 MW of the same type. Furthermore diagnostic processes are described, by means of which the cause of the analyzed oscillations could be determined, and details of an auxiliary mean are indicated, which bases upon a modification of the construction. Results of measurements are listed, which were done with one of the generators after introducing the said modification.

Karsch, P.; Weber, F.; Bodau, G.

Developing and Manufacturing High-Graded Technical Consumer Goods in the VEB Bergmann Borsig, Primary Factory of the Kombinat Kraftwerksanlagenbau

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, pp. 144–147, 5 Figs., 4 Refs.

The VEB Bergmann Borsig produces electric razors with oscillating armature drive since more than 30 years. During that period the oscillating armature drive was further developed continuously, and its function was improved. Thereby important material-economical aims were realized. Corresponding to the international trend the developing objects are aiming to electric razors, which are independent versus mains, and to multiple useable components with further expenditure reduction.

Документация

Вагнер, В.

Турбогенератор 110 МВт для реконструкции энергетических блоков 100 МВт в ГДР

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 124–126, 4 рис., 1 табл.

Реконструкция в электростанциях ГДР турбогенераторов 100 МВт, введенных в эксплуатацию в периоде от 1962 до 1967 гг., должна обеспечивать продолжение эксплуатации их без каких-либо ограничений в течение 25 лет считая с момента проведения реконструкции при одновременном повышении мощности на 10 %. При этом должны обеспечиваться модернизация и повышение надежности. Приводятся данные по расчету параметров турбогенератора и дается описание его конструктивного выполнения.

Глебов, И. А.; Данилевич, Я. Б.

Проблемы диагнозирования турбогенераторов

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 127–128, 1 табл., 6 уравн., 3 лит.

Рассматриваются задачи диагнозирования турбогенераторов, указываются показатели, которые желательно постоянно зафиксировать (monitoring) с целью возможно раннего опознавания возникновения дефектов и принятия автоматически действующих мер по предотвращению неисправностей. Особое значение при этом придается контролью теплового режима обмотки статораии колебаний индуктора.

Лемберг, Г.

Улучшенный учет показателей демпферной системы синхронных машин с массивными полюсами

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 129–132, 4 рис., 23 уравн., 5 лит.

Дается описание пути к математическому моделированию турбогенератора, требующего учета намного большего числа подробностей демпферной системы для решения ориентированных на практику заданий по расчету нестационарных процессов. В связи с этим обращается внимание на применение метода конечных элементов.

Пэрш, Х.; Мюллер, Ф.

Характеристика напряжения пробоя схемы изоляции на слюдяной бумаге при электрическом старении

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 132–134, 6 рис., 2 уравн., 4 лит.

Проведено измерение напряжения пробоя в течение и в конце электрического старения на модельных установках слюдяной изоляции вращающихся высоковольтных машин. Эксперименты показали, что значения напряжения пробоя почти вплоть до конца электрического срока службы останутся очень близкими к начальному значению.

Краузе, В.

Определение нагрузок во вращающихся деталях турбогенератора и необходимые предпосылки для оценки долговечности в эксплуатационных улсовиях

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 135–138, 10 рис., 2 табл., 7 лит.

Для индуктора дается обзор о сегодняшнем состоянии познаний в части расчета параметров. Представляются предположительные нагрузки, способы вычисления и вычислительные программы, приводятся результаты собственных расчетов. Вопросы долговечности валов рассматриваются на основе обсуждаемой проблематики.

Хлавач, Й.

Новые турбогенераторы для атомной электростанции „Норд"

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 139–141, 4 рис., 2 табл., 1 уравн., 6 лит.

Представляется турбогенератор 220 МВт производства заводов SKODA, г. Пильзен, ЧССР, предназначенный для применения в конечной очереди строительства атомной электростанции „Норд". Более подробно рассматриваются система охлаждения и устройство возбуждения, указываются основные параметры.

Дитевски, К.

Устранение колебаний статора турбогенератора 200 МВт

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 141–144, 5 рис.,

Дается описание колебаний статора, обнаруженных на некоторых турбогенераторах 200 МВт, приводятся результаты сравнительных измерений проведенных в экспуатационных условиях на пяти генераторах 200 МВт того же типа. Помимо этого описываются диагностические процессы, с помощью которых была выявлена причина анализируемых колебаний, указываются подробности относительно вспомогательного средства, основывающегося на модификации конструкции. Приводятся результаты измерений, проведенных на одном из генераторах после внедрения вышеуказанной модификации.

Карш, П.; Вебер, Ф.; Бодау, Г.

Разработка и изготовление высококачественных технических товаров ширпотреба на н. п. ФЭБ Бергманн Борзиг, головном предприятии Комбината Крафтверксанлагенбау

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 4, стр. 144–147, 5 рис., 4 лит.

Народное предприятие ФЭБ Бергманн Борзиг в течение более 30 лет выпускает электробритвы с приводом от двигателя с качательным движением. Двигатель за это время подвергался постоянному усовершенствованию и улучшению в части функционирования. При этом реализованы важные задачи в части экономии материалов. Следуя мировым направлениям развития, техническое задание на разработку ориентировано на создание независимых от сети электробритв и разработку узлов многократного применения при одновременном снижении затрат.

Dokumentation

Wagner, W.

110-MW-Turbogenerator für die Rekonstruktion der 100-MW-Kraftwerksblöcke in der DDR

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 124–126, 4 Bilder, 1 Tafel

Die Rekonstruktion der im Zeitraum von 1962 bis 1967 in Betrieb genommenen 100-MW-Turbogeneratoren in den DDR-Kraftwerken hat den Weiterbetrieb für 25 Jahre ab Rekonstruktions-Zeitpunkt ohne Einschränkungen und mit einer Leistungserhöhung um 10 % zu sichern. Dabei sind Modernisierung und Erhöhung der Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Die Auslegungsdaten des Turbogenerators werden angegeben, und es erfolgt eine Beschreibung der konstruktiven Ausführung.

Glebov, I. A.; Danilewitsch, Ja. B.

Probleme der Diagnose von Turbogeneratoren

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 127 u. 128, 1 Tafel, 6 Gln., 3 Lit.

Es werden die Aufgaben der Diagnose bei Turbogeneratoren behandelt und die Kenngrößen genannt, die kontinuierlich erfaßt werden sollten (monitoring), um die Entstehung von Defekten frühzeitig erkennen zu können und entsprechende automatisch wirkende Maßnahmen zur Abwendung von Störungen einzuleiten. Am wichtigsten ist dabei die Überwachung des Temperaturzustandes der Ständerwicklung und der Schwingungen des Induktors.

Lemberg, G.

Verbesserte Erfassung des Dämpfersystems von Synchron-Vollpolmaschinen

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 129–132, 4 Bilder, 23 Gln., 5 Lit.

Es wird ein Weg zur mathematischen Modellierung des Turbogenerators beschrieben, der zur Lösung praxisrelevanter Aufgaben der Berechnung nichtstationärer Vorgänge die Erfassung von wesentlich mehr Einzelheiten des Dämpfersystems erfordert. Dazu wird auf die Anwendung der Methode der finiten Elemente hingewiesen.

Pärsch, H.; Müller, F.

Verhalten der Durchschlagspannung einer Glimmerpapier-Isolieranordnung bei elektrischer Alterung

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 132–134, 6 Bilder, 2 Gln., 4 Lit.

An Modellanordnungen der Glimmerpapierisolierung von rotierenden Hochspannungsmaschinen erfolgte die Messung der Durchschlagspannung im Verlauf und am Ende einer elektrischen Alterung. Die Versuche zeigten, daß die Durchschlagspannung bis zum nahezu vollständigen Ende der elektrischen Lebensdauer sehr nahe bei ihrem Anfangswert bleibt.

Krause, W.

Ermittlung der Beanspruchungen in rotierenden Teilen eines Turbogenerators und notwendige Voraussetzungen für die Einschätzung der Lebensdauer unter Betriebsbedingungen

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 135–138, 10 Bilder, 2 Tafeln, 7 Lit.

Für den Induktor wird ein Überblick zum gegenwärtigen Erkenntnisstand bei der Auslegung gegeben. Es werden Belastungsannahmen, Rechenverfahren und Rechenprogramme vorgestellt und eigene Berechnungsergebnisse angegeben. Eine Betrachtung zur Lebensdauer von Induktorwellen erfolgt anhand der diskutierten Problematik.

Hlavář, J.

Neue Turbogeneratoren für das Kernkraftwerk Nord

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 139–141, 4 Bilder, 2 Tafeln, 1 Gl., 6 Lit.

Es wird der 220-MW-Turbogenerator der SKODA-Werke Plzen/ČSSR vorgestellt, der bei der letzten Ausbaustufe des Kernkraftwerkes Nord zum Einsatz gelangen wird. Das Kühlsystem und die Erregereinrichtung werden näher beschrieben und die Hauptparameter werden angegeben.

Dytewski, K.

Beseitigung von Statorschwingungen eines 200-MW-Turbogenerators

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 141–144, 5 Bilder

Es werden Statorschwingungen beschrieben, die an einigen 200-MW-Turbogeneratoren festgestellt wurden, und Ergebnisse der Vergleichsmessungen von Statorschwingungen angegeben, die unter Betriebsbedingungen an fünf 200-MW-Generatoren von gleichen Typ durchgeführt wurden. Außerdem werden diagnostische Vorgänge beschrieben, mit deren Hilfe die Ursache der analysierten Schwingungen ermittelt wurde, sowie Einzelheiten über ein Hilfsmittel angegeben, das auf einer Modifikation der Konstruktion beruht. Es werden Ergebnisse von Messungen angeführt, die an einem der Generatoren nach Einführung der obigen Modifikation vorgenommen wurden.

Karsch, P.; Weber, F.; Bodau, G.

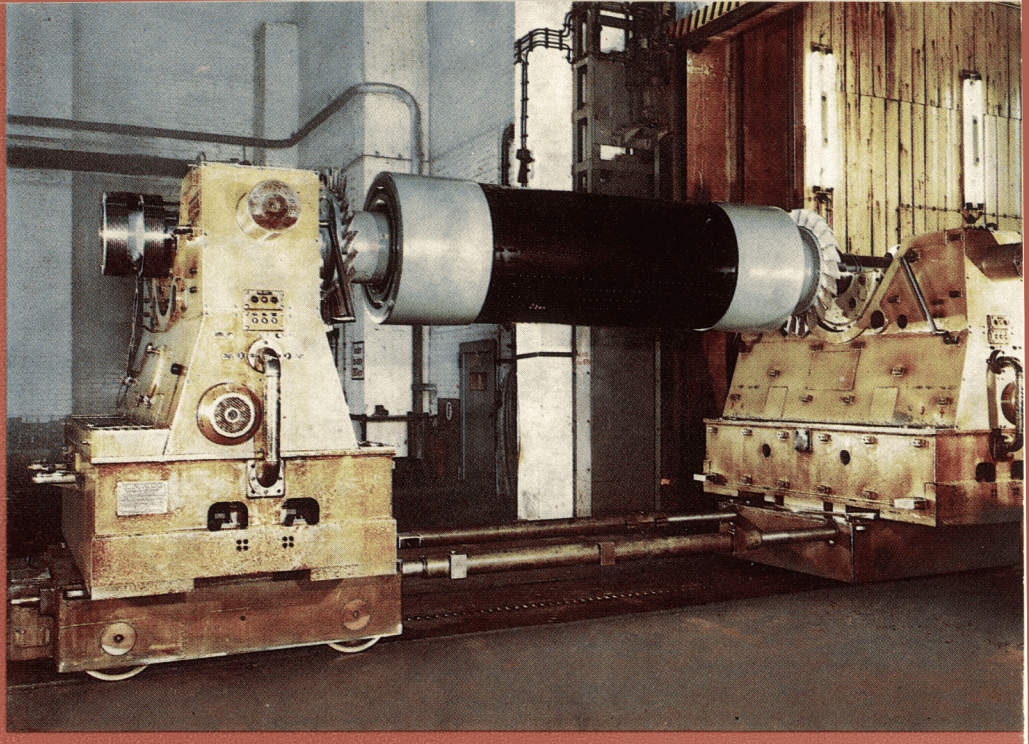
Entwicklung und Fertigung hochwertiger technischer Konsumgüter um VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 4, S. 144–147, 5 Bilder, 4 Lit.

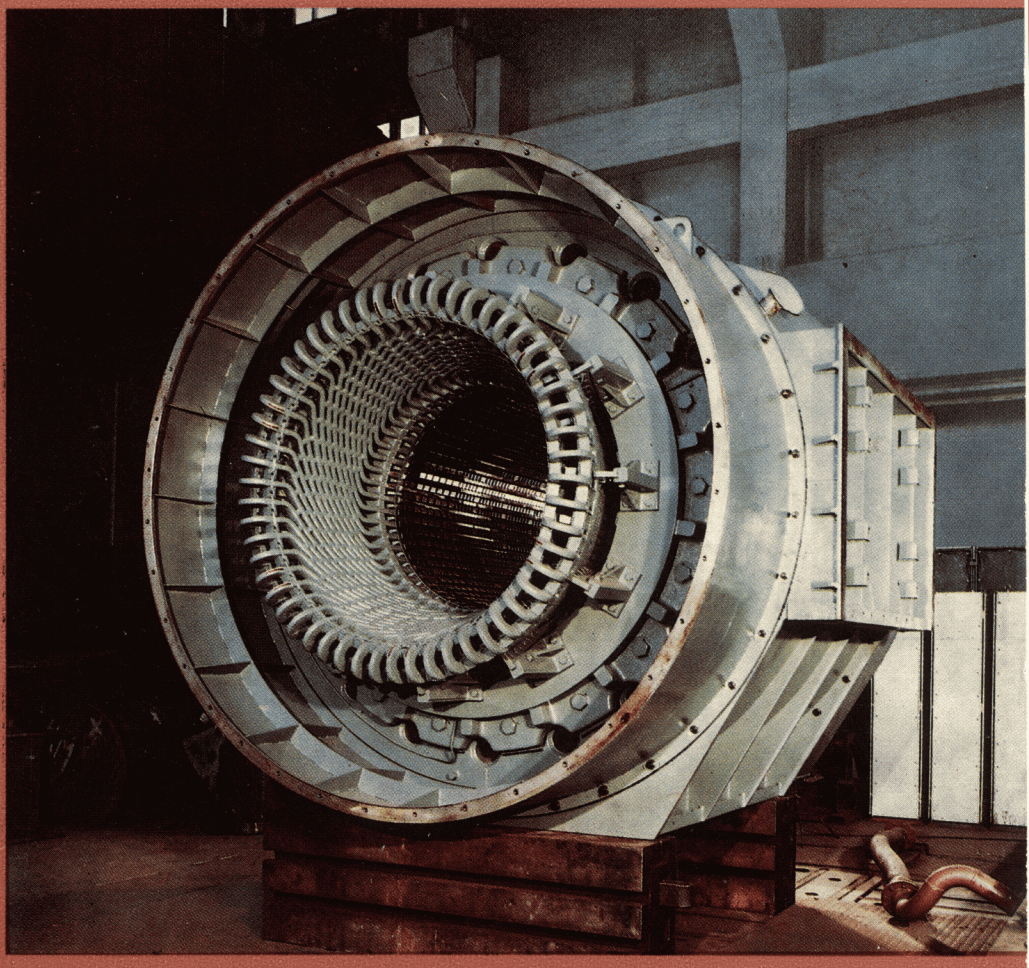
Der VEB Bergmann Borsig stellt seit mehr als 30 Jahren Trockenrasierapparate mit Schwingankerantrieb her. Der Schwingankerantrieb wurde in dieser Zeit ständig weiterentwickelt und in seiner Funktion verbessert. Dabei wurden wichtige materialökonomische Zielstellungen realisiert. Dem internationalen Trend folgend, orientiert die Entwicklungszielstellung auf netzunabhängige Rasierapparate und mehrfach einsetzbare Baugruppen bei weiterer Aufwandminderung.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870 0; Telex: 011 2228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 120000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knijižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No., 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co, KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010



Induktor für Schnellstartgenerator 40 MVA Vorbereitung zum Wuchten und Schleudern



Ständer eines 40-MVA-Schnellstartgenerators nach dem Wicklungseinbau

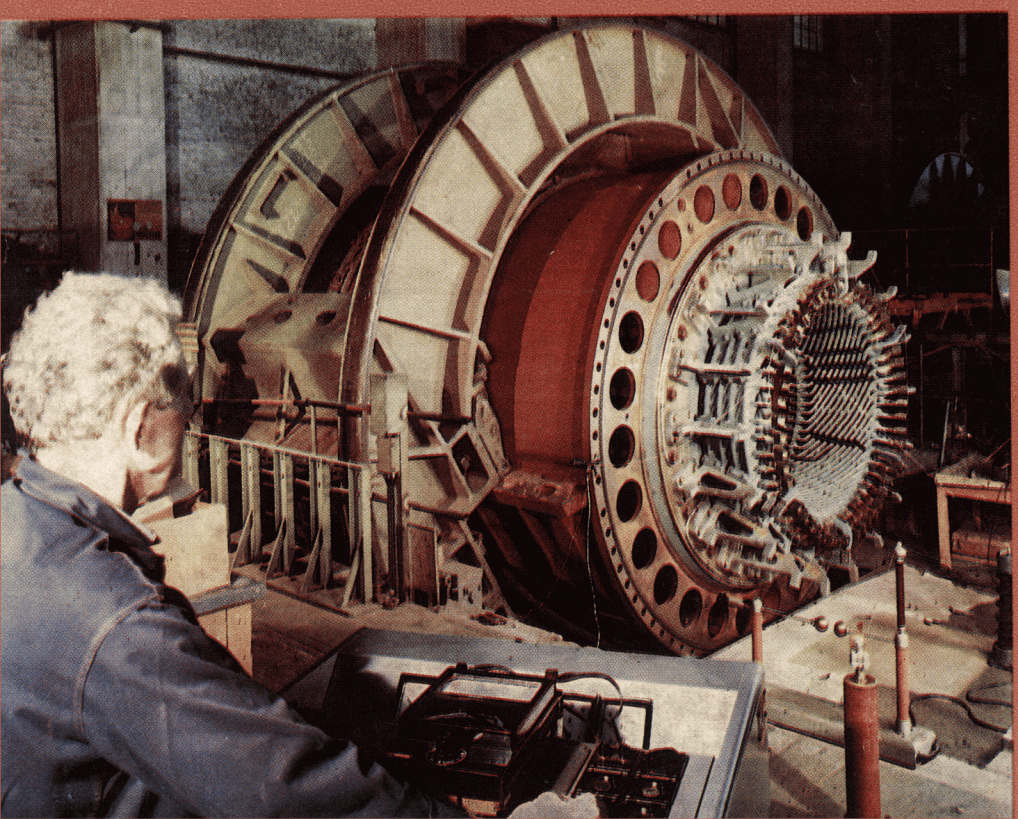
VEB Bergmann-Borsig
Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau
Hans-Beimler-Straße 91/94
Berlin, DDR-1017
Telefon: 4 38 50, Telex: 112501 kokab dd

Exporteur:
TechnoCommerz
Volkseigener Außenhandelsbetrieb
Johannes-Dieckmann-Str. 11/13
Berlin, DDR - 1086
Telefon: 22 40, Telex: 11 4977-8

ELEKTRIE · Berlin
ISSN 0013—5399

6730 4 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

Prüfstand für Turbogeneratoren



Ständer eines 71-MVA-Turbogenerators beim Wicklungseinbau und bei der Fertigungsprüfung

KAB